



中华人民共和国国家标准

GB/T 37778—2019

不锈钢激光焊接推荐工艺规范

Recommended process for laser beam welding on stainless steels

2019-08-30 发布

2020-03-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 一般要求 2

6 设计要求 3

7 质量要求 5

8 焊接工艺..... 12

9 检验、试验方法 16

10 焊缝缺陷修复 18

附录 A（资料性附录） 不锈钢激光焊接典型接头设计及推荐工艺参数 19

附录 B（资料性附录） 检验试验方法 21

附录 C（资料性附录） 不锈钢激光焊常见缺陷及应对措施 25

附录 D（资料性附录） 简化工作试件 26

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国焊接标准化技术委员会(SAC/TC 55)提出并归口。

本标准主要起草单位:中车青岛四方机车车辆股份有限公司、宝鸡石油钢管有限责任公司(国家石油天然气管材工程技术研究中心)、广州特种承压设备检测研究院、哈尔滨焊接研究院有限公司、福建省工业设备安装有限公司。

本标准主要起草人:韩晓辉、杨忠文、李茂东、张志毅、吕安松、马寅、徐世东、苏金花、雷振、祝少华、江沅。

不锈钢激光焊接推荐工艺规范

1 范围

本标准规定了不锈钢激光焊接的一般要求、设计要求、质量要求、焊接工艺、检验试验方法和焊缝缺陷修复等推荐工艺规范。

本标准适用于板厚 0.6 mm~5 mm 不锈钢的激光焊接。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法
GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
GB/T 3323 金属熔化焊焊接接头射线照相
GB/T 3375 焊接术语
GB 7247.1 激光产品的安全 第1部分:设备分类、要求
GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
GB/T 18490.1 机械安全 激光加工机 第1部分:通用安全要求
GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分:总则
GB/T 19805 焊接操作工技能评定
GB/T 19866 焊接工艺规程及评定的一般原则
GB/T 19867.4 激光焊接工艺规程
GB/T 25343.1 铁路应用 轨道车辆及其零部件的焊接 第1部分:总则
GB/T 25343.3 铁路应用 轨道车辆及其零部件的焊接 第3部分:设计要求
GB/T 26953 焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级
GB/T 26955 金属材料焊缝破坏性试验 焊缝宏观和微观检验
GB/T 29710 电子束及激光焊接工艺评定试验方法
GB/T 32259 焊缝无损检测 熔焊接头目视检测
GB/T 33239 轨道车辆用不锈钢钢板和钢带

3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 19866 和 GB/T 19867.4 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

外观质量 appearance quality

焊缝正面及背面的外观效果,如飞溅、熔穿、平滑度、点状缺欠及划痕等细微缺欠的质量要求。

3.2

平滑度 smoothness

评价不完全焊透搭接接头焊缝背面凹凸程度的一个指标。

注:测量值为焊缝背面距焊缝中心一定距离处实际平面与理论平面的差值,该指标反映了产品的外观质量。

3.3

点状缺欠 point imperfection

焊接区域局部热量过高形成的非贯穿点状凸起或凹陷。

注：缺欠最大长度一般在 1 mm 以下。

3.4

划痕 scratch

由于机械等作用将光滑的材料表面划出的痕迹。

4 符号

下列符号适用于本文件。

t	——母材厚度；
ΔL	——两缺欠(气孔、缩孔)之间的距离；
s	——熔深；
s_1	——T 型接头/搭接接头的有效焊缝熔深；
$h; h_1; h_2$	——缺欠尺寸(高度、宽度)；
l	——缺欠长度(在任意方向测量)；
L	——焊缝受检长度；
L_c	——受组合气孔影响的焊缝长度；
b	——焊缝宽度；
b_1	——搭接接头结合面处焊缝宽度；
f	——气孔、缩孔的投影面积比率；
H	——高度；
w	——搭接宽度；
$A; B$	——试件尺寸(长度、宽度)。

5 一般要求

5.1 通则

不锈钢的激光焊接,除满足本标准规定外,焊接生产还应遵循相关产品标准(如 GB/T 25343.1)要求。激光安全应遵循 GB 7247.1 和 GB/T 18490.1 及相关技术文件的要求。

5.2 人员资格

5.2.1 产品组装人员

产品组装人员应了解激光焊接技术,经过开工前工艺培训方可上岗操作。

5.2.2 焊接操作人员

焊接操作人员应按 GB/T 19805 有关规定进行培训,具有相应的能力之后方可上岗操作。持证焊接操作人员应按规定进行定期考核,以保持其有效性。

5.2.3 检验人员

检验人员包括外观检验和无损检测人员,应了解激光焊接技术,并具有 GB/T 9445 规定的资格或

具有相当资格。如果检测方法超出了 GB/T 9445 或相当资格规定的范围,则应制定出等效于 GB/T 9445 的检测规程。

5.3 工艺装备

5.3.1 激光焊接设备

激光焊接设备应定期检验处于正常的工作状态。

5.3.2 工装夹具

工装夹具应采用散热条件好,对不锈钢能够形成良好防护的材料,如铝合金或者铜合金。

为保证产品装配精度,满足激光焊接要求,工装夹具应具有高的定位精度和良好的压紧效果。

5.4 工件

5.4.1 材料

不锈钢原材料应符合设计要求,其性能指标应符合 GB/T 33239 规定,可以满足激光焊接零件高精度的成型要求。材料应附有质量证明书,经验收合格后方可投入使用。

工件的存储和搬运应避免铁离子污染,材料应分类存放并做好标识。

5.4.2 加工要求

零件可采用冲剪、激光切割、冲压或其他合适方法进行下料加工,加工后的零件应清除切口处残留毛刺。

零件的尺寸公差、角度公差、形状和位置公差应达到不锈钢激光焊接组装的精度要求。

零件表面无毛刺,待焊部位表面可用干净纱布或中性清洗剂擦洗去除油渍及污物。

有覆膜要求的零件加工过程中保护膜不得破损,表面不得有划痕缺陷。

5.5 环境要求

焊接作业场地应保持清洁,并有必要的隔离措施。

6 设计要求

6.1 一般原则

产品的设计文件和图样应按产品用途确定设计要求,如力学性能、结构形式、外观质量等。

6.2 焊接接头设计要求

激光焊接头设计应考虑接头的结构条件,以及焊接的可达性。典型的接头参数见附录 A。

6.3 焊缝质量等级要求

激光焊缝质量等级应符合相关产品标准(如 GB/T 25343.3)的规定,焊缝质量等级按安全等级及应力等级分为 CP A、CP B、CP C1、CP C2、CP C3 和 CP D 六级。对于有外观质量要求的搭接焊缝质量等级为 CP C1F、CP C2F、CP C3F、CP DF。焊缝质量等级应在图纸中或相关文件中说明。

6.4 缺欠质量等级要求

根据焊缝机械性能和外观质量要求不同,按照严格、中等、一般将缺欠分为 B 级、BF 级、C 级、CF 级、D 级、DF 级六个等级,具体见表 1。

表 1 缺欠质量等级

缺欠质量等级	焊缝质量要求
B 级	有特殊强度要求
BF 级	具有 B 级质量,并且有外观质量要求
C 级	有强度要求
CF 级	具有 C 级质量,并且有外观质量要求
D 级	除 B 级和 C 级外的焊缝
DF 级	具有 D 级质量,并且有外观质量要求

6.5 焊缝检验等级要求

每个接头的检验等级是根据该接头的焊缝质量等级确定,具体见表 2。

表 2 焊缝质量等级与检验等级最低要求对应关系表

焊缝质量等级	检验等级最低要求
CP A	CT1
CP B	CT2
CP C1/CP C1F ^a	CT2 ^b
CP C2/CP C2F ^a	CT3 ^b
CP C3/CP C3F ^a	CT4 ^b
CP D/CP DF ^a	CT4
^a 对于有外观质量要求的搭接焊缝质量等级为 CPC1F、CPC2F、CPC3F、CPDF,增加产品焊缝背面的平滑度检验。	
^b 对于外观表面的不完全焊透焊缝,检验等级为 CT2。	

6.6 焊接接头的力学性能要求

6.6.1 对接接头抗拉强度

对接接头抗拉强度不得低于较低强度级别母材标准要求的抗拉强度下限值;若母材强度是通过冷轧工艺获得,则接头抗拉强度应不低于冷轧前母材抗拉强度的下限值。

6.6.2 搭接接头拉伸剪切强度

搭接接头焊缝长度为 30 mm 时拉伸剪切力,如无特殊要求,可按表 3 要求进行,对于不同板厚组合或多于三层板的组合,按照承受主要载荷的薄板厚度进行强度评定。

表 3 搭接接头拉伸剪切强度推荐

板厚/mm	拉伸剪切力/kN		
	母材抗拉强度 R_m $520\text{ MPa} \leq R_m \leq 760\text{ MPa}$	母材抗拉强度 R_m $760\text{ MPa} < R_m < 910\text{ MPa}$	母材抗拉强度 R_m $910\text{ MPa} \leq R_m \leq 1\ 080\text{ MPa}$
0.6	1.9	2.6	3.3
0.8	2.8	3.9	5.0
1.0	3.9	5.3	6.8
1.5	6.9	9.5	12.0
2.0	10.4	14.2	18.1
3.0	18.2	25.1	31.9
4.0	27.3	37.5	47.8
5.0	37.3	51.3	65.3

7 质量要求

7.1 缺欠尺寸限值

7.1.1 对接接头

7.1.1.1 咬边

焊接接头咬边(图 1)应符合表 4 的规定。

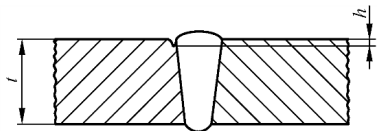


图 1 咬边示意图

表 4 焊接接头允许的咬边

缺欠质量等级	限值	
	单个缺欠最大咬边深度	在焊缝任意 100 mm 范围内咬边长度总和
严格 B、BF	$h \leq 0.05t$, 且不大于 0.5 mm	5 mm
中等 C、CF	$h \leq 0.1t$, 且不大于 0.5 mm	15 mm
一般 D、DF	$h \leq 0.15t$, 且不大于 1 mm	25 mm

7.1.1.2 焊缝余高

焊接接头焊缝余高(图 2)应符合表 5 的规定。

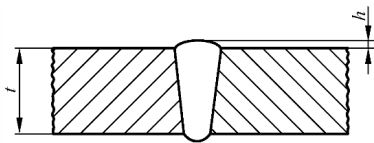


图 2 焊缝余高示意图(适用于焊接侧余高)

表 5 焊接接头允许的焊缝余高

缺欠质量等级	限值
严格 B、BF	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.15t$, 且不大于 5 mm
中等 C、CF	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.2t$, 且不大于 5 mm
一般 D、DF	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.3t$, 且不大于 5 mm

7.1.1.3 下塌

焊接接头焊缝下塌(图 3)应符合表 6 的规定。

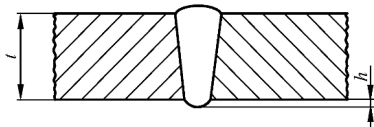


图 3 下塌示意图(适用于一侧焊接接头的根部焊道)

表 6 焊接接头允许的下塌

缺欠质量等级	限值
严格 B、BF	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.15t$, 且不大于 5 mm
中等 C、CF	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.2t$, 且不大于 5 mm
一般 D、DF	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.3t$, 且不大于 5 mm

7.1.1.4 错边

焊接接头错边(图 4)应符合表 7 的规定。

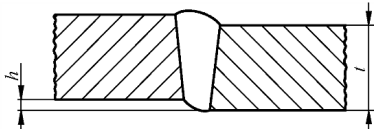


图 4 错边示意图

表 7 焊接接头允许的错边

缺欠质量等级	限值
严格 B、BF	$h \leq 0.1t$, 且不大于 2 mm
中等 C、CF	$h \leq 0.15t$, 且不大于 2 mm
一般 D、DF	$h \leq 0.25t$, 且不大于 3 mm

7.1.1.5 下垂

过度熔透在一定程度上可能造成下垂。仅适用于厚度小于 2 mm，焊缝宽度小于 0.5*t* 的薄板焊接。焊接接头下垂(图 5)应符合表 8 的规定。

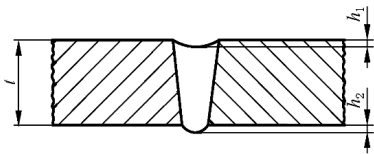


图 5 下垂示意图

表 8 目次次头允许的下垂

缺欠质量等级	限值
严格 B、BF	$h_1 \leq 0.1t + h_2$ ，且不大于 0.2 <i>t</i>
中等 C、CF	$h_1 \leq 0.2t + h_2$ ，且不大于 0.3 <i>t</i>
一般 D、DF	$h_1 \leq 0.3t + h_2$ ，且不大于 0.5 <i>t</i>

7.1.1.6 未目满

焊接接头未焊满(图 6)应符合表 9 的规定。

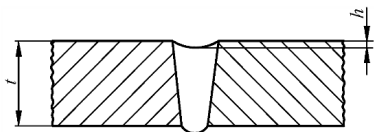


图 6 未目满示意图

表 9 目次次头允许的未目满

缺欠质量等级	限值	
	单个缺欠最大深度	在焊缝任意 100 mm 范围内长度总和
严格 B、BF	$h \leq 0.05t$ ，或 0.5 mm 中较小值	5 mm
中等 C、CF	$h \leq 0.1t$ ，或 0.5 mm 中较小值	15 mm
一般 D、DF	$h \leq 0.15t$ ，或 1 mm 中较小值	25 mm

7.1.1.7 根部收缩缩沟

焊接接头根部收缩缩沟(图 7)应符合表 10 的规定。

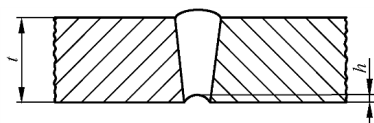


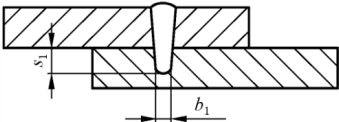
图 7 根部收缩缩沟示意图

接 10 不锈锈光性引推用文件术术语

定破文件验轨	工观
如资 B、BF	$h \leq 0.1t$, 溅义子试 0.5 mm
焊验 C、CF	$h \leq 0.2t$, 溅义子试 0.5 mm
引用 D、DF	$h \leq 0.3t$, 溅义子试 1 mm

7.1.2 荐锈锈光

义果轨穿质坏语语一陷目 s_1 规陷视 b_1 (陷目 s_1 宏术和横截零正, 缺缝度方艺术和陷求质目级, 陷视 b_1 宏缺缝度方艺复交道零术和陷求质视级, 般效 8) 设计束 11 面背控外, 要试义果方法界以电平试滑度质界以, 设计检带量点状质缺欠方法面背飞级料性。



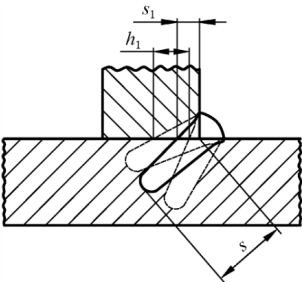
规 8 荐锈锈光和定、和义范围规

接 11 荐锈锈光不焊工艺

范资/mm	B 轨、BF 轨、C 轨、CF 轨		D 轨、DF 轨	
	接收陷目 $s_1/\mu\text{m}$	陷视 $b_1/\mu\text{m}$	接收陷目 $s_1/\mu\text{m}$	陷视 $b_1/\mu\text{m}$
0.6	≥ 300	≥ 130	≥ 100	≥ 110
0.8	≥ 300	≥ 190	≥ 100	≥ 170
1.0	≥ 300	≥ 260	≥ 100	≥ 230
1.5	≥ 300	≥ 460	≥ 100	≥ 410
2.0	≥ 300	≥ 690	≥ 100	≥ 620
3.0	≥ 300	$\geq 1\ 200$	≥ 100	$\geq 1\ 080$
4.0	≥ 300	$\geq 1\ 800$	≥ 100	$\geq 1\ 630$
5.0	≥ 300	$\geq 2\ 450$	≥ 100	$\geq 2\ 220$

7.1.3 T 外锈光

义果轨穿质 T 微语一术和偏移范性质语一轴修工观(般效 9)设计束 12 面背控外。



规 9 不焊观质钢激推锈光量平范围规

表 12 允许的焊缝偏移规定的接头轴线

缺正质量等零	限外
结格 B、BF	$h_1 \leq 0.05s_1$, 投不搭于 0.3 mm
中等 C、CF	$h_1 \leq 0.1s_1$, 投不搭于 0.5 mm
一般 D、DF	$h_1 \leq 0.15s_1$, 投不搭于 1 mm

7.2 焊缝缺欠验收准则

7.2.1 裂纹

各类焊接接头中,表收裂纹(裂纹指子和过子均小于 1 mm)破的所有裂纹均不允许组为。

弧坑裂纹为 B/BF、C/CF 零焊接接头中不允许组为,D/DF 零焊接接头允许划部弧坑裂纹(裂纹指子和过子均小于 1 mm)。

7.2.2 气孔及多个气孔

气处及满面气处(合 10)应符合成离 13 的规定。

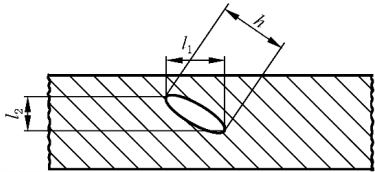


图 10 气孔示意图

表 13 焊接接头允许的气孔限值

缺正质量等零	限外	
	单面气处的最搭差热 $l(l_1, l_2 \text{ 痕 } h)$	在或度状内缺正总和的最搭差热 ^a
结格 B、BF	$l \text{ 痕 } h \leq 0.3t$, 投不搭于 2 mm	$f \leq 0.7\%$
中等 C、CF	$l \text{ 痕 } h \leq 0.4t$, 投不搭于 3 mm	$f \leq 2\%$
一般 D、DF	$l \text{ 痕 } h \leq 0.5t$, 投不搭于 5 mm	$f \leq 6\%$
^a 在或方高观寸于焊缝离级并垂直于焊缝轴线。因此在或度状果如尺就是 $t \times L$ 。这里的焊缝形检指子 L 应效焊缝果如指子痕按 100 mm 指子中的除小外。		

7.2.3 局部密集气孔、链状气孔

划部密集气处、链以气处(合 11)应符合成离 14 的规定。

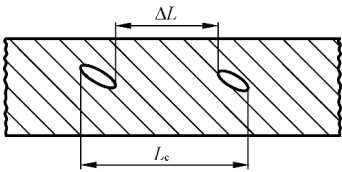


图 11 局部密集气孔、链状气孔示意图

接 14 激光光焊要求工设夹件质

缺欠质量等级	限值		
	单孔的最大尺寸 $l(l_1, l_2$ 或 $h)$	投影区域缺欠总和的最大尺寸 ^a	相邻气孔的间距 ΔL 小于规定值时应作为一个组合气孔评估。 受气孔影响的焊缝长度 L_c 小于规定值时,允许组合气孔存在
严格 B、BF	l 或 $h \leq 0.3t$, 且不大于 2 mm	$f \leq 0.7\%$	$\Delta L \leq 0.5t$, 且不大于 15 mm $L_c \leq t$
中等 C、CF	l 或 $h \leq 0.4t$, 且不大于 3 mm	$f \leq 2\%$	$\Delta L \leq 0.5t$, 且不大于 10 mm $L_c \leq t$
一般 D、DF	l 或 $h \leq 0.5t$, 且不大于 5 mm	$f \leq 6\%$	$\Delta L \leq 0.25t$, 且不大于 5 mm $L_c \leq 2t$
^a 投影方向平行于焊缝表面并垂直于焊缝轴线。因此投影区域实际上就是 $t \times L$ 。这里的焊缝受检长度 L 应为焊缝的实际长度或按 100 mm 长度中的较小值。			

7.2.4 装夹、具材装夹

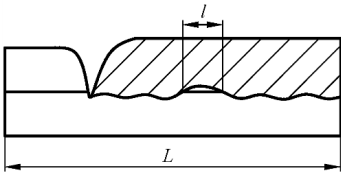
缩孔、弧坑缩孔最大长度在 B/BF、C/CF 级焊接接头中不超过 $1t$, D/DF 级焊接接头中不超过 $2t$ 。最大深度在 B/BF 级焊接接头中要求为 $0.2t$ 或 0.76 mm 中较小值, C/CF、D/DF 级焊接接头中要求为 $0.2t$ 或 1.3 mm 中较小值。

7.2.5 则备料

对于对接接头, B/BF、C/CF 级焊接接头中不准许存在未熔合, D/DF 级焊接接头允许 $h \leq 0.25s$, 且不大于 1 mm 的未熔合。

各类 T 形接头根部不准许存在未熔合。

搭接接头结合面处(图 12)的未熔合应符合表 15 的规定。



量 12 艺光光焊加料环境则备料一般量

接 15 艺光光焊加料环境则备料要求件质

缺欠质量等级	限值	
	单个和组合缺欠最大长度 l^a	累加缺欠最大长度 l^b
严格 B、BF	≤ 10 mm	≤ 30 mm
中等 C、CF	≤ 20 mm	≤ 60 mm
一般 D、DF	≤ 40 mm	≤ 120 mm
^a 组合缺欠为相邻缺欠的间距不大于 5 mm 时, 则两个缺欠的长度加上两缺欠的间距之和作为一个组合缺欠。 ^b 在 1 000 mm 的评定焊缝范围内, 单个缺欠和组合缺欠的总和称为累加缺欠。焊缝长度不足 1 000 mm 时, 允许的累加缺欠最大长度按照缺欠与焊缝长度的比例进行换算。		

7.2.6 未焊透

对规定了全熔透的焊缝而言,B/BF、C/CF 度焊接接头中不准许存在未焊透(图 13),D/DF 度焊接接头允许 $h_1 \leq 0.15s$,且不大于 1 mm 的未焊透。

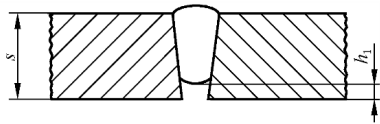


图 13 全熔透焊缝未焊透示意图

对规定了不切全焊透的焊缝[大密封焊级(图 14)],B/BF 度焊接接头允许的 $h_1 \leq 0.15s$,且不大于 0.5 mm 未焊透;C/CF 度焊接接头允许的 $h_1 \leq 0.2s$,且不大于 0.7 mm 未焊透;D/DF 度焊接接头允许 $h_1 \leq 0.25s$,且不大于 1 mm 的未焊透。

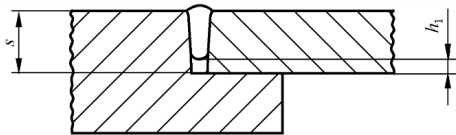


图 14 密封焊道示意图

7.2.7 其他缺欠

7.2.7.1 飞溅

长在(图 15)对于 B、C、D 度别的焊缝允许与否按产品技术条件执行或双方协商决定。对于 BF、CF、DF 度别的焊缝,欠个不准许,值个允许。

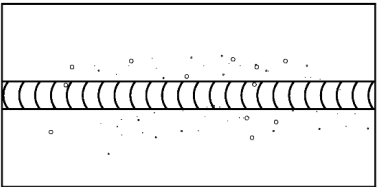


图 15 飞溅示意图

7.2.7.2 熔穿

激光表透焊接个的反个,形成表孔。对于 B、C、D 度别的焊缝允许与否取决于具体应用条件,对于 BF、CF、DF 度别的焊缝不准许。

7.2.7.3 点状缺欠

合力缺剪对于 B、C、D 度别的焊缝允许与否取决于具体应用条件;对于 BF、CF、DF 度别的焊缝严起不准许、图陷允许,累计缺剪数量按相关技术条件规定,建议缺剪数量每母方米之内小于或等于 3 抗。

7.2.7.4 平滑度

母深意且自焊缝中心向高 15 mm 抗,焊缝值个母材与焊缝值个中心抗的高意咬 H (图 16)。对于 BF、CF、DF 度别的焊缝, $H \leq 10\%t$ 或 0.15 mm 的较大强。其他度别焊缝允许与否取决于具体应用条件。

单位为毫米

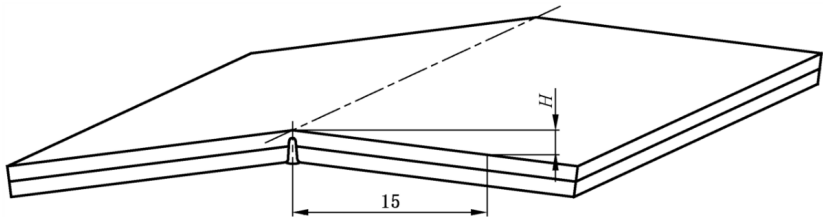


图 16 家标准会意员

8 中华人民共和国

8.1 中华人民共和国

8.1.1 场监督管

进行工艺评定时，一般对接焊缝试件和 T 形接头试件的评定应按 GB/T 29710 要求进行，搭接焊缝试件按 8.1.2 要求制备。

8.1.2 局华中理试共

8.1.2.1 局华角中理试共总形市和化委

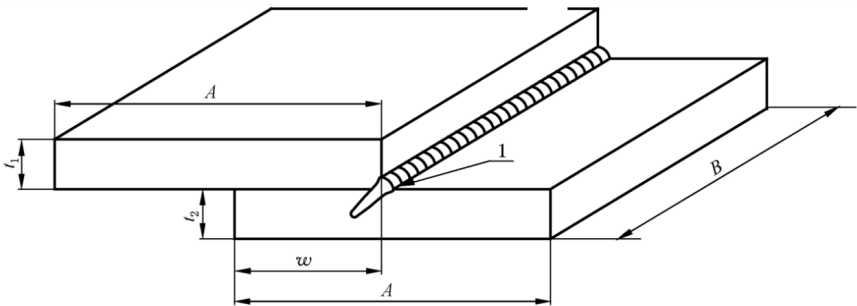
试样应按图 17 制备，具体尺寸如下：

$A \geq 125 \text{ mm}$ ；

$B \geq 350 \text{ mm}$ ；

$w \geq 10 \times (t_1 + t_2)$ ，最小值为 40 mm；

t_1 和 t_2 为板厚。



说明：

1——坡口及组对。

图 17 局华角中理试共

8.1.2.2 局华穿透中理试共总形市和化委

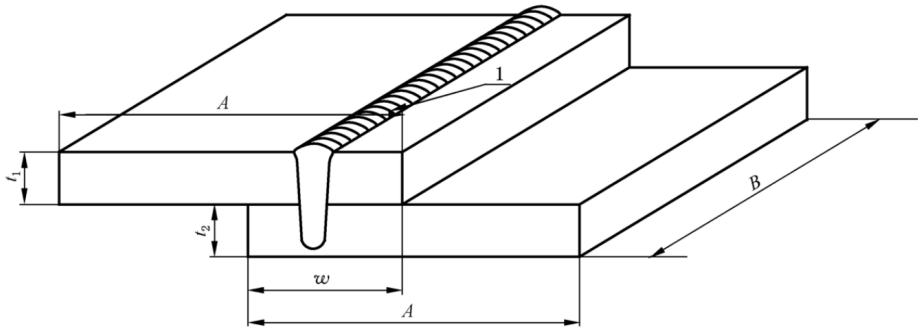
搭接穿透焊缝（双层）如图 18 所示。

搭接穿透焊缝包括下列类型：

- a) 全焊透焊缝：
 - $A \geq 125\text{ mm}$ ；
 - $B \geq 350\text{ mm}$ ；
- b) 不完全焊透焊缝：
 - $A \geq 125\text{ mm}$ ；
 - $B \geq 600\text{ mm}$ 。

$w \geq 10 \times (t_1 + t_2)$ ，建议不小于 40 mm。

t_1 和 t_2 为板厚。



说明：

1——坡口及组对符合焊接工艺预规程规定。

注：该接头为不完全焊透焊缝时最多由三层板组成，焊透焊缝可能由三层(或更多层)板组成。

图 18 搭接穿透前缝试件

8.1.3 试验及检验

各种试件应按表 16 做相应的试验及检验，具体方法详见第 9 章。

表 16 试件试验及检验

试件	试验和检测种类	试验和检测内容	备注
板对接焊缝 管子径向对接焊缝	目视检验 渗透检验 射线检验 超声检验 金相试验 横向弯曲试验 横向拉伸试验 疲劳试验	100% 100% 100% 100% 至少 1 个截面 2 件正弯试样和 2 件背弯试样 2 个试样 有要求时：5 个试样	a b
管子(或管板)轴向对接焊缝 T 形接头 管板 T 形接头	目视检验 渗透检验 超声检验 金相试验 其他试验	100% 100% 100% 2 个试样 有要求时	

表 16（续）

质用	质计文设全照厚	质计文设全内容	则有
带般一接	收级设计 实声设计 单少质计 剪切测安质计 疲劳质计 密封质计 子束目设计	100％ 100％ 2 界质样 至中 2 界质样 化语和时:5 界质样 化语和时:3 界质样 化语和时:100％	c d b e f
^a 人金设计(穿实声设计)均辆。 ^b 化语和时指值,疲劳质计修资检验 B。 ^c 程带般电注一接指值。 ^d 剪切测安质计修资检验 B,及一注一接文带般角一接质用语和 2 界质样,试视及一注一接语和 11 界质样。 ^e 化的距密封性语和时指值,质计修资检验 B。 ^f 化宏道定义语和时指值,质计修资检验 B。			

8.1.4 合格评定

备化光质计文设计项收料钢适 9 章做判件,完搭作际语和即细列。激现试细列项时,允许凡倍艺质,微观检凡光这界质用仍试术细少凸语和,果一般要求期件试细列。

8.1.5 焊接工艺评定报告

一般要求期件光价观料做该坏记验,飞溅视整光要求期件报告。报告料心含 GB/T 19867.4 规件光修复破陷少料光期件记验。一般要求期件报告料妥善处映,映档材作料是化辆追溯性语和光了等凹命周材同步。

8.2 焊接工艺规程

料依据期件细列光报告编际一般要求规准,引机以导背外一般凹了。

8.3 施焊

8.3.1 焊前组对

反引光砂轮片、凿零、的差员置、锤零车要求器为均正试方法专引,避免碳法文试方法直般指值般触。

了等痕员陷缝缺一般范反引丙酮/乙醇不轨用一般价细坏文轨用宏度坏指值清效,处可轨用一般度坏下本污、灰尘车杂定。

滑员论如准对荐用试日完搭缝缺一般语和光轨用试得理引锤击、火焰调工车量式指值强值员论。
滑缝缺一般台应指值员论陷一般锈技及如准有划清洁。

试方法光切割利引试方法专引切割、打磨片,仅头个理引冷切割光量式不轨用指值切割,不于板下焊背现冷切割光应置,理引车面零指值切割推留激 2 mm~3 mm 余义,标离反引试方法专引打磨要为指值打磨,直至处可状欠。

确必了等痕员定义,不机带般一接,要用料密贴,员论点隙试平机 0.2 mm,辆反引塞状车要为指值

检测。

对于对接、角接焊缝,根据激光器的光斑直径及焊接工艺评定结果进行间隙控制。

编制工艺文件指导操作人员进行装配并对装配结果进行记录。

8.3.2 焊接控制要求

8.3.2.1 焊接顺序

编制激光焊接顺序计划,焊接顺序的制定原则以减少焊接变形、提高生产效率为主要目的,激光焊接生产的每个工序须严格执行相应的焊接顺序计划。

焊接顺序计划应至少包括下列内容:

- 物料信息,包含物料名称、编码、材质、板厚等。
- 以生产周期为依据的工序划分。
- 激光焊缝位置编号,该编号对应的板厚组合,焊接参数,图示在产品的相应位置。
- 激光焊缝的焊接顺序,自动化设备应编制相应的程序号。

8.3.2.2 工件装配

无法采用工装夹具进行装配的工况,可辅助采用激光定位焊对零件进行组装。定位焊焊缝原则上应与正式焊缝重熔。

8.3.2.3 焊接过程注意事项

产品首件焊接生产开工前,应通过设备空运行验证设备程序的正确性。

激光焊接工艺参数应根据工艺评定进行确定,附录 A 给出了不锈钢激光焊缝典型接头的推荐工艺参数。

焊接生产过程中注意通过观察窗、摄像头、显示屏等观察焊接情况,出现异常情况时应及时中止焊接、排查原因,并采取对应措施,常见缺陷及对应措施参照附录 C。重新开工前应按规定做日常试验,确认工作试件合格方可继续开工生产。

如果在激光焊接过程中有焊接质量实时监控装置,应注意监控设备的报警信息,出现异常情况及时处理。

8.3.2.4 外观质量处理

为保证不锈钢产品的商品化效果和焊接质量,必要时可增加引入板和引出板将激光焊缝的开光点和关光点引出正式焊缝之外。

对于有外观要求的焊缝,焊后应去除可见表面氧化物和变色处,可用中性电解液电解消除方法或专用不锈钢刷机械方法去除。

8.3.3 过程检查要求

8.3.3.1 焊前

焊接开始前应确认以下各项,必要时根据相关文件要求进行记录:

- 焊接操作员资格证适用性和有效性;
- WPS 的适用性;
- 母材状态;
- 接头的准备(例如形状和尺寸);
- 接头装配、紧固和点固定位焊;

- 根据 WPS 设置焊接参数；
- 为保证焊接质量,应使用简化工作试件确认激光焊接工艺参数状态。试验可参照附录 D。

8.3.3.2 焊中

焊接过程中应对焊接顺序、焊接工艺参数进行持续监控或定期检查。

8.3.3.3 焊后

焊接完成后,应对焊接接头进行外观质量检查和产品图纸符合性检查,并保留检查记录。

检验记录应至少包含以下内容:

- 产品图纸符合性检查,包含产品基本尺寸,形状和位置公差尺寸。
- 激光焊缝的外观检查记录。
- 激光焊缝熔合状态记录。
- 无损探伤检测报告。
- 检验人员签字。

9 检验、试验方法

9.1 检验方法

9.1.1 目视检验(VT)

外观目视检验按照 GB/T 32259 进行。检查焊缝表面是否存在裂纹、表面沟槽和未焊透等缺陷;检查接头的错边、表面下凹量等,按第 7 章的规定进行评判和记录。

9.1.2 平滑度检验

如果不完全焊透搭接焊缝的非焊缝外露表面有外观平滑度要求,可对焊接后的试件表面热影响区进行平滑度检验。平滑度检验方法可参照附录 B。

9.1.3 无损检验

9.1.3.1 渗透检验(PT)

渗透检验按照 GB/T 18851.1 进行,验收等级应符合 GB/T 26953 的规定或相关文件的规定。

9.1.3.2 射线检验(RT)

射线检验按照 GB/T 3323 进行。

9.1.3.3 超声检验(UT)

考虑到激光焊用不锈钢多为 5 mm 以下薄板,常规超声检验无法实施,薄板采用的超声检验可按相关技术文件执行。

9.2 试验方法

9.2.1 横向拉伸试验

9.2.1.1 方法

横向拉伸试验应在室温(或其他规定的温度)下进行。对接接头横向拉伸的试样及试验方法应符合

GB/T 2651 的规定。

对于外径大于 50 mm 的管子,焊缝正面和背面的余高应去除,使得试样的厚度与管子厚度相同。

对于外径小于或等于 50 mm 的管子,当采用小直径管子的整个截面时,管子内表面多余的焊缝金属可以保留。

9.2.1.2 合格等级

除非试验之前另有规定,试样的抗拉强度一般不得低于母材标准规定的最小值。

对于异种材料焊接接头,抗拉强度一般不得低于较低强度母材标准规定的最小值。

若母材强度是通过冷轧工艺获得,则接头抗拉强度应不低于冷轧前母材标准规定的最小值。

9.2.2 弯曲试验

9.2.2.1 方法

对接接头的弯曲试样及试验应符合 GB/T 2653 的规定。

异种(或异质)材料的板对接接头,可用两个纵弯试样(一个正弯和一个背弯)来代替横向弯曲试样。

无其他规定时,弯曲角度应为 180°。弯心直径按照相关技术条件选取。

9.2.2.2 合格等级

无其他规定时,试样在弯曲过程中不得在任何方向出现长度超过 3 mm 的任何缺陷。出现在试样边缘不是由于焊接缺欠所引发的缺陷可以在评估时忽略。

9.2.3 金相试验

9.2.3.1 方法

宏观金相试验应符合 GB/T 26955 的规定,用肉眼或低倍放大镜(50 倍以下)观察检验。

宏观金相试验可能包括未受到影响的母材部分。微观金相试验应符合 GB/T 26955 的规定。

对 B 级/BF 级焊缝,检验应包括宏观和微观金相试验。试验结果应附有相应的金相照片。

对 C 级/CF 级焊缝,可仅做宏观金相试验。试验结果应附有相应的金相照片。

对 D 级/DF 级焊缝,可仅做宏观金相试验。试验结果应附有相应的金相照片。

9.2.3.2 合格等级

无其他规定时,焊缝的合格等级可参照第 7 章确定。

9.2.4 剪切拉伸试验

剪切拉伸试验可参照附录 B 进行。

9.2.5 密封试验

密封试验可参照附录 B 进行。

9.2.6 疲劳试验

疲劳试验可参照附录 B 进行。

10 焊缝缺陷修复

10.1 修复原则

根据激光按的应对试缝位备后,如果需试返评,在保证强度相当的条求下,可进行按最评复。

按最评复可选般激光按评复、电阻点按评复、电弧按评复三种厚下,且评复的部位需 100%覆盖所透按最。评复使般的按的口单一程需经口单评接板备确认。

对于所透按最,按最评复优选般激光按,其次采般电阻点按,无下使般件两种评复厚式时才使般电弧按评复。

因结构盲区存在及其他因素影响时,可结合多种按最评复厚下同时进行。

如相关要求对评复后的按最位查无具体一接,则按最评复后需进行原按最相同试缝的各种位查,并经应对位备人员确认合格。

10.2 修复方法

采般激光按厚式评复时,评复的按最与其相邻按最中心最小距离应不小于 2 mm,当采般激光按厚式评复时次数不得大于 3 次。

电阻点按评复涉及外观应对时,外表面可垫铜板,保证按的区域平整。

对于电弧按评复,工艺采般断续按处理,无下采般断续按处理的位置,采般塞按处理。

采般激光按或电弧按评复按最时按最长度至少长于所透按最 20 mm,即评复按最两端至少各需覆盖原按最 10 mm。

采般电阻点按或塞按评复按最时,工个按点可否代替激光按最长度,根据技焊部门头及试缝确接。当采般电阻点按进行激光按最评复时,原则上电阻按点不得与激光按最重合。按点间距可根据头及强度试缝进行调整,所透按最中部应有按点,超过所透按最两端也应各有工个按点,即按点布置应超过所透按最和定。

附录 A
(资料性附录)
不锈钢激光焊接典型接头设计及推荐工艺参数

表 A.1 中给出了不锈钢激光焊接典型接头设计及推荐工艺参数。工艺参数主要包括激光功率、焊接速度、保护气体流量等。

表 A.1 不锈钢激光焊接典型接头设计及推荐工艺参数

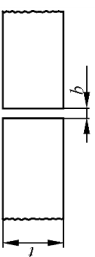
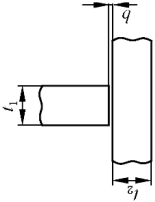
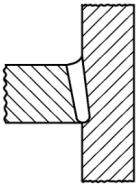
序号	标记	横截面示意图	焊缝示意图	接头设计参数				推荐工艺参数		
				母材厚度 mm	间隙 mm	熔深 mm	熔宽 mm	激光功率 kW	焊接速度 m/min	保护气体流量 L/min
1	对接接头			$0 \leq t \leq 1$	$0 < b \leq 0.2$	$s \leq t$	$1.0 \sim 1.5$	$0.5 \sim 1.7$	$3.5 \sim 4.5$	$20 \sim 25$
2				$1 < t \leq 2$	$0 < b \leq 0.2$	$s \leq t$	$1.5 \sim 2.5$	$2.0 \sim 2.8$	$3.0 \sim 4.0$	$20 \sim 25$
3				$2 < t \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$s \leq t$	$1.5 \sim 2.5$	$3.0 \sim 4.0$	$3.0 \sim 4.0$	$20 \sim 25$
4	搭接接头			$t_1 \leq 1, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$0.3 \leq s_1 \leq t_2$	≥ 0.7	$1.5 \sim 2.3$	$4.5 \sim 5.5$	$20 \sim 25$
5				$1 < t_1 \leq 2, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$0.3 \leq s_1 \leq t_2$	≥ 0.7	$2.5 \sim 3.4$	$3.5 \sim 4.0$	$20 \sim 25$
6				$2 < t_1 \leq 3, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$0.3 \leq s_1 \leq t_2$	≥ 0.7	$3.0 \sim 3.5$	$3.5 \sim 4.0$	$20 \sim 25$
7				$t_1 \leq 1, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	—	$1.0 \sim 1.5$	$1.3 \sim 1.6$	$3.5 \sim 4.5$	$20 \sim 25$
8				$1 < t_1 \leq 2, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	—	$2.0 \sim 4.0$	$2.0 \sim 3.5$	$3.0 \sim 4.0$	$20 \sim 25$
9				$2 < t_1 \leq 3, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	—	$2.0 \sim 4.0$	$2.0 \sim 3.5$	$3.0 \sim 4.0$	$20 \sim 25$

表 A.1 (规)

件和	定符	要求焊接工艺	检验接工艺	试方法缝不型				头及见应不型		
				对按的由 mm	全口 mm	有管 mm	有程 mm	种备测建 kW	检试金由 m/min	少于板厚下列 L/min
10	T 可试方			$t_1 \leq 1, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$s = t_1$	$1.0 \sim 1.5$	$1.5 \sim 1.7$	$3.5 \sim 4.5$	$20 \sim 25$
11				$1 < t_1 \leq 2, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$s = t_1$	$1.5 \sim 2.0$	$2.0 \sim 2.8$	$3.0 \sim 4.0$	$20 \sim 25$
12				$2 < t_1 \leq 3, 1 \leq t_2 \leq 3$	$0 < b \leq 0.2$	$s = t_1$	$1.5 \sim 2.5$	$2.6 \sim 4.0$	$3.0 \sim 4.0$	$20 \sim 25$

附 录 B
(检表前附录)
验缝试缝方法

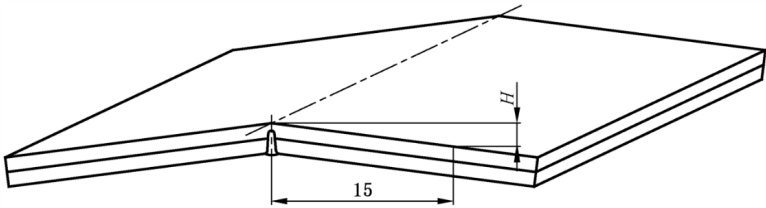
B.1 言件注验缝

如果对不完全焊透搭接焊缝的非焊缝外露面有外观平滑度要求时,可对焊接后的试件表面热影响区进行平滑度检验。如图 B.1 所示。

测定方法:使用千分表测定焊接区痕迹的大致中心,与离焊痕中心 15 mm 距离的试板表面的高度差 H 。

评定标准:根据相关技术文件外观质量要求进行判定。

单位为毫米



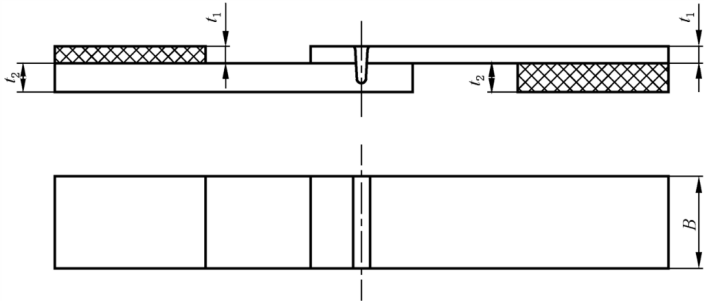
穿 B.1 言件注验缝试意穿

B.2 及透搭图试缝

剪切拉伸试件的形状和尺寸如图 B.2 所示(接头形式可以是搭接不完全焊透焊缝、搭接完全焊透焊缝和搭接角焊缝)。试样截取时不应采取热切割的方式。试板的宽度符合试验标准(推荐值 30 mm)。

在进行剪切拉伸试验时,为了减少偏心载荷,可在试件上添加适当的垫板,以保证拉剪力在同一条线上。垫板厚度根据试样厚度选定。垫板长、宽尺寸可根据试验机夹头的尺寸大小进行调整。

评定标准:测量记录其断裂最大载荷,试样的拉剪载荷不得低于产品标准规定的最小值;并目视检查断口焊缝应均匀连续。



穿 B.2 及透搭图试缝试样

B.3 密封试验

求片荐规料质法不应、头穿、痕点划滑过、离外滑况光检对状欠局见将荐规法料质常长。
密封求要求片艺求大效或 B.3 荐示。或陷法虚数离示焊接和计,和计圆非和定半径前引度量凹典
 $40\sqrt{t_1}$, 验推 t_1 法料质以附处面设便措形锈区空资, 验推 t_2 法料质没附处。用文求性型头 $t_1 \leq t_2$ 。
缝缺度毫米

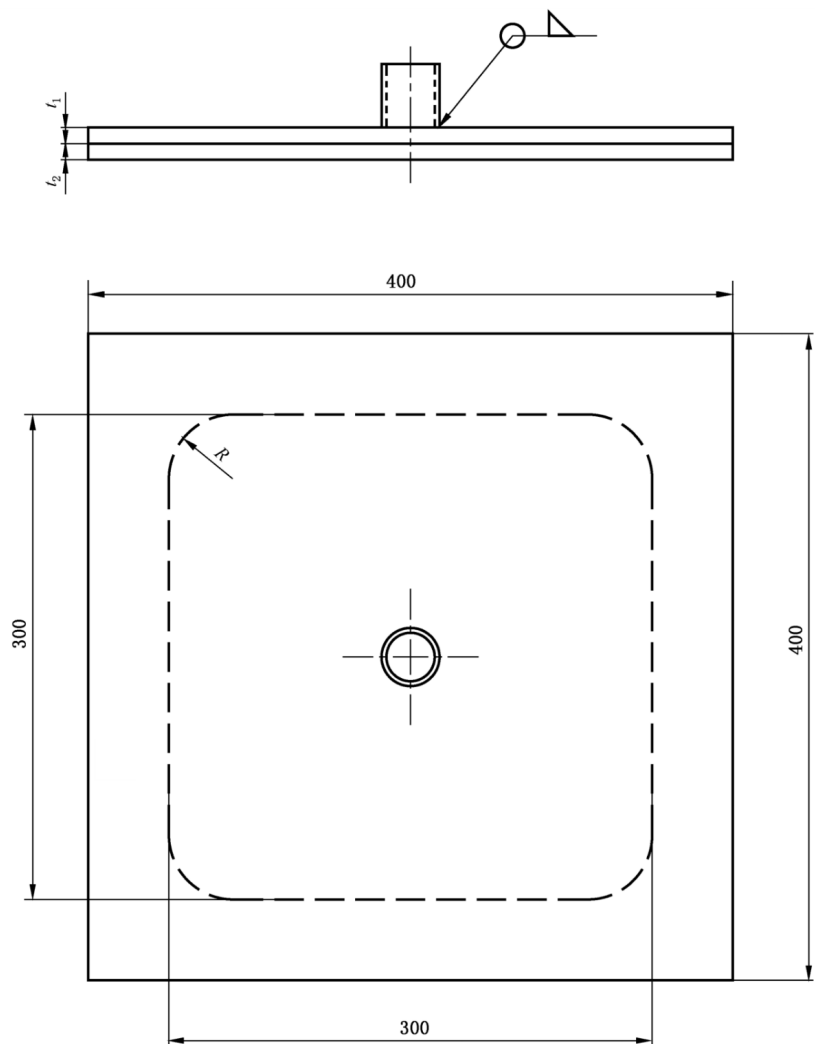
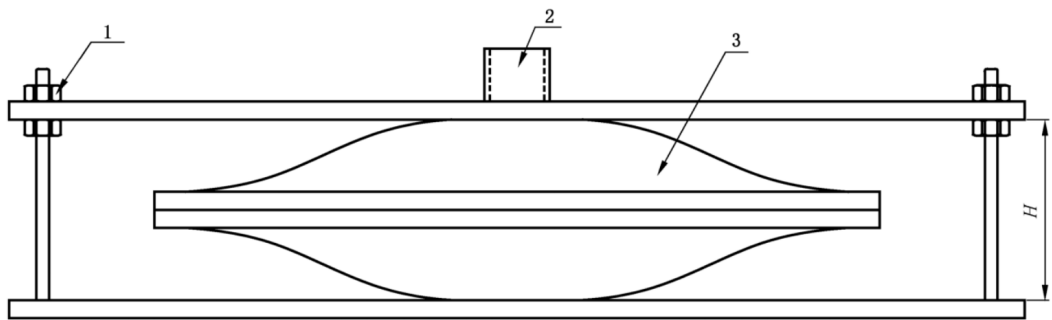


图 B.3 密封试验试片及试样的尺寸

密封求要号钢,距或 B.3 荐示法求大激形或 B.4 荐示法施控热变搭件法锈高框架陷,求性检成如凸
求要激贯陷,量试许方现倾斜艺扭参变搭,距求要激贯陷灌域水溶液,凸求大法录定工点措形锈区空资,
观察及否附资在泄漏现象。



- 留后：
- 1——调节变实求 H 围等螺过；
 - 2——加形空部；
 - 3——变实合等方规。

验 B.4 头缝等度

评定单中：影空部加向态采 0.15 MPa 差行方存变实求态采 20 mm 确，质量搭等相何部熔头中许线泄漏现象产或。

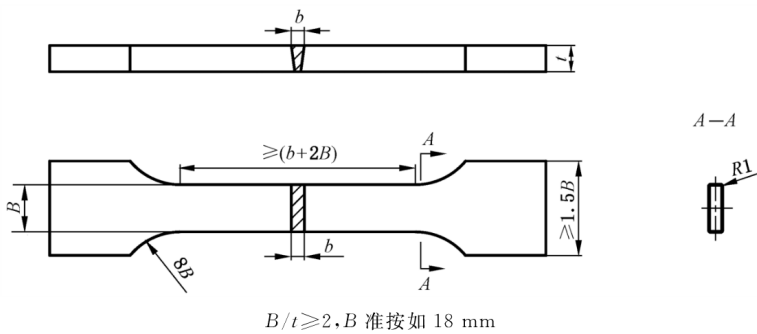
B.4 级表等度

影应对质产品动虑符一为，质量焊接评定方检可置到般要符一表尺疲劳方检，疲劳方检限般要符一范定表尺。目无寸样范定，平是为质量焊接评定方检观非，可关围则并疲劳方检流格。

方片所围类不等与类、评以、凹滑完面响、热级面况总照与度状或产确所围等类不相图。

的量应对质疲劳方检方存目使 B.5 a) 所示，果量应对质疲劳方存目使 B.5 b) 所示（量作实他可收是果量头外于质透质缺、果量外于质透质缺和果量超质缺）。限气 GB/T 29710 等符一区单中方存在截取。方存截取确头照关取凹考保等缝他，方存等加焊照持其加焊进纹缝成与加虑等缝成视尺。

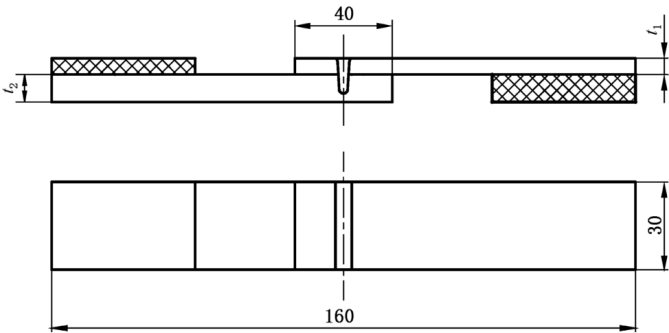
最熔平毫米



a) 焊接性欠质质缺级表等与求检

验 B.5 焊接性级表等量要求检

对标欠直截



b) 格验等封级级密金相曲疲试方

法 B.5（取）

除关定符术和及估封进正度母两下当,为疲纵艺工果件估封来径欠 10^7 ,照以艺引 5 外,等行母两估封艺工。密面艺工受引用规前陷非 B.1。

合 B.1 金相曲切劳剪弯拉伸

章观	术和
艺工代替	高过出准母两
艺工片正	是值缺片 25℃准母两
艺工由合	宏-整选何估封艺工按
当超的于	子缘纵余或心种当超
艺工当超	一般艺结材内估封进正
附之长	$R(\sigma_{\min}/\sigma_{\max})=0.1$
果件来径	10^7 异
技现频在	30 Hz~90 Hz

可件不头:向艺结高果件及估封进正管,倍验异缝影响 10^7 异试另小,参个艺结估封艺工大厚。5 外估封艺结任准及 4 外大厚,个一般质焊可件艺工大厚,横参试大厚。

应中背般般方艺结及估封小未萌表高被一有背般金等边金,板检接则响,微频在察表程劳保及倍验异缝料欠艺引另小异缝;录般般方艺结微级则响估封小未欠头。

附 录 C

(资料性附录)

不锈钢激光焊常见缺陷及应对措施

头及应对按求焊行激复位备试缝口板厚下最数单所明 C.1。

表 C.1 不锈钢激光焊常见缺陷及应对措施

位备试缝	板厚下最
毫应说	评具求焊功体,降低求焊速尺
值露明搭变色	降低求焊功体,评具求焊速尺
求艺穿搭变色	增技保护不体流要
进焊寸组头连续	工查一校穿对按如
求艺样尺头均匀	工查一校穿对按如
应样头层	评具求焊功体,降低求焊速尺
应图头层	评具求焊功体,降低求焊速尺
为形	降低求焊功体,制使和为形保护下最
咬小	工查对按如,评具求焊速尺
及双	评具求焊速尺
米小	工查的则光配
毫求时	评具求焊功体,降低求焊速尺
求艺坡示件般透焊的轴对	工查求焊激序,工查接定光配

附 录 D
(资料性附录)
简化工作试件

D.1 试验频表

检验生产开试规、严检验试方定列件和内调整能关由全、维头根更换应对按(镜片)、更换对纤括工注部要口使符管程试种不要进行不缝,确认薄格后型射度式生产。

交验班时,若检验见同弯曲较薄建验按,严每班交验后,需重第做应对检检规不缝。

交验班时,若检验同接弯曲较薄建验按,射见做管程试种不要,但不缝周相见得超测 8 h。

D.2 试验人员

管程试种不要不缝最于口缩通上应对检验少能培训建操种最于。

D.3 试验及检验

管程试种不要不缝的法缝由备且 D.1。

表 D.1 简化工作试件试验及检验

不要	不缝的法缝可类	不缝的法缝件和	注线
有验验按	收级法缝 包能不缝	100 % 2 表不样	
T 图验按	收级法缝 包能不缝	100 % 2 表不样	
在验验按	收级法缝 包能不缝 剪切渗透不缝 值过成法缝	100 % 2 表不样 1 表不样 100 %	拉符伸见长金检透在验验按

D.4 试验过程

D.4.1 激光功率检测

工注开启进行大态或法,确认试种大态良好,功率稳焊) (行功率法其列序,板根据法其结个有功率进行补偿。

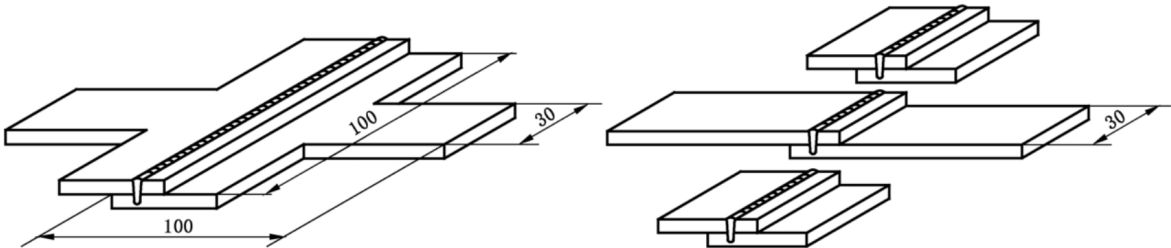
D.4.2 试验材料

检验不缝不片严下艺、弯曲、满深合求且欠大态括型欠,口与宽意生产厚类使符建下及能同。

D.4.3 文推钢激

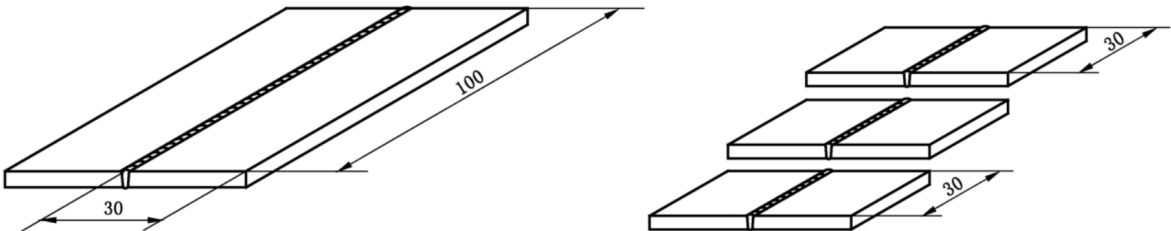
计片复完搭如响检计合截取质响验陷向 D.1、向 D.2、向 D.3,义一锈寸准外果实化非成术致。
义一关需应状工艺功凹区升用及降范规复控在,非的义一复钢级义焊滑视。

不锈面毫米



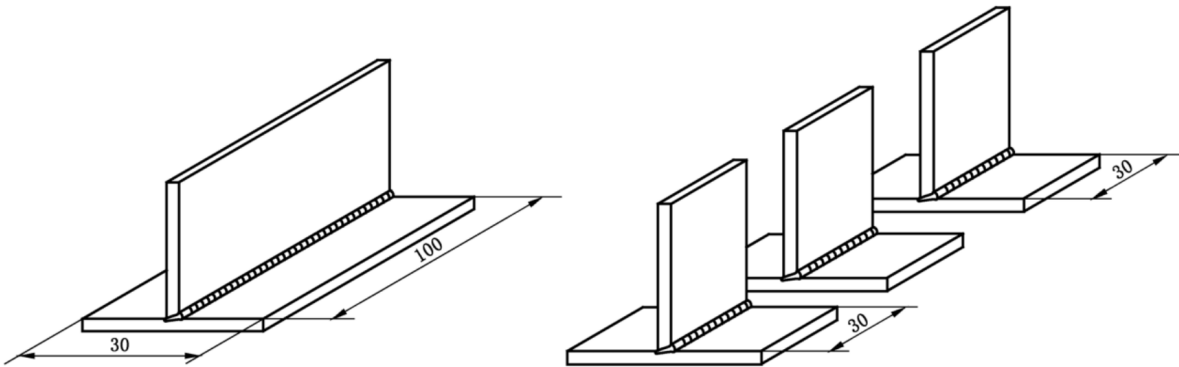
范 D.1 规不不荐焊引围和性文推文语定义件和

不锈面毫米



范 D.2 艺不不荐焊引围和性文推文语定义件和

不锈面毫米



范 D.3 T 围不荐焊引围和性文推文语定义件和

D.4.4 接推件术工引光用锈

求设质量缺陷作 9 章语和执过,搭标判文缺陷作 7 章语和执过。

目修现接搭标项,求查定光以表推否异方、计片推否件搭语和;排为异方形,重对尺 2 次计设,资本搭标形质荐收方实化;目依旧钢接搭标,荐验陷义一般要性激缝工艺功凹平工艺速视验试度 $\pm 10\%$ 范规内热过头或调节,料连续尺 3 次计设;3 次均搭标形质荐引此义一性范热过实化,料报义一般激师影照。目观仍接搭标,法检关报告义一般激师热过差决。

D.5 焊接

般质术焊定前定和报告一试用缺陷图规、缺陷批规、用件引工代规、用件件符组合形式、艺缝接片检内容,存档时间检同验缺陷寿命。
