



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 33163—2016

---

## 金属材料 残余应力 超声冲击处理法

Metallic materials—Residual stress—With ultrasonic impact treatment

2016-10-13 发布

2017-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
引言 .....	Ⅳ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和说明 .....	1
5 原理 .....	2
6 超声冲击处理方法 .....	2
7 超声冲击处理效果的评价 .....	3
8 试验报告 .....	4
附录 A (资料性附录) 典型的超声冲击处理设备 .....	5
附录 B (资料性附录) 超声冲击处理工艺质量控制 .....	8
附录 C (资料性附录) 超声冲击处理注意事项与安全防护 .....	11
参考文献 .....	12

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：天津大学、武汉钢铁(集团)公司。

本标准主要起草人：王东坡、吴良晨、李荣锋、刘永长、李敢红、张海。

## 引 言

超声冲击处理是一种以针式冲击来消除残余应力的方法,它是以超声发生器为激励源,通过压电陶瓷或磁致伸缩方式将超声频电源转换成超声频振动,振动由冲击针传递到金属表面,在金属表面及次表面产生塑性变形,并细化晶粒,达到消除残余应力的目的。

超声冲击处理适合于各种工程构件消除应力的需求,特别适合于结构复杂的钢结构、铝合金结构以及由异种焊接接头或其他金属材料制成的结构件。

如为了提高结构的抗疲劳性能,一般只针对焊趾采用超声冲击处理;如为了提高结构的抗应力腐蚀性能,需要针对焊接接头或指定区域采用超声冲击全覆盖处理。

# 金属材料 残余应力 超声冲击处理法

## 1 范围

本标准规定了采用超声冲击处理法消除金属材料残余应力的术语和定义、符号和说明、原理、方法及效果的评价。

本标准适用于材料厚度大于 4 mm、屈服强度不大于 900 MPa、断后伸长率大于 5% 的金属构件的超声冲击消除残余应力处理。

## 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 7704 无损检测 射线应力测定方法

GB/T 24179 金属材料 残余应力测定 压痕应变法

GB/T 31310 金属材料 残余应力测定 钻孔应变法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**超声冲击处理** **ultrasonic impact treatment**

使用超声冲击设备对金属材料按一定参数消除残余应力的处理工艺。

### 3.2

**超声冲击枪** **ultrasonic impact gun**

执行超声冲击处理的装置。

### 3.3

**冲击针** **impact needle**

将超声频振动传递给金属表面的钢针。

## 4 符号和说明

本标准使用的符号和说明见表 1。

表 1 符号和说明

符号	单位	说明
$a$	$\mu\text{m}$	超声换能器输出波形的振幅
$d$	mm	冲击针直径
$l$	mm	冲击针长度

表 1 (续)

符号	单位	说明
$r$	mm	冲击针末端半径
$l_1$	mm	焊趾区焊缝一侧的凹槽宽度
$l_2$	mm	焊趾区母材一侧的凹槽宽度
$v$	mm/min	超声冲击处理速度

## 5 原理

通过换能器将超声频的电流转换成同频率的机械振动,这种机械振动通过冲击针传递到待处理金属表面,使其一定深度的表层金属产生压缩塑性变形,消除拉伸残余应力,并使得尖锐过渡处曲率半径变大,降低应力集中系数。

## 6 超声冲击处理方法

### 6.1 设备

超声冲击处理设备一般由超声发生器、超声冲击枪、超声冲击针等组成,典型的超声冲击处理设备参见附录 A。

### 6.2 冲击处理前的准备

在实施超声冲击处理之前,待处理表面应保持一定程度的整洁。如果表面有油污、脏物、锈,应加以清理。可以采用打磨或用钢丝刷的方式去掉焊缝表面氧化物、飞溅残留物等杂质。如果待处理表面凹凸不平,建议对表面进行轻微打磨以改善其形状,形成一个能使超声冲击枪平稳移动的通道。

### 6.3 冲击处理过程

6.3.1 一般情况下,超声冲击处理应按照以下步骤实施(以处理焊趾为例):

- a) 将冲击针对准焊趾,保证焊缝一侧和母材一侧被冲击覆盖的宽度大致相同,冲击枪的轴线与焊缝纵向基本垂直(偏差不超过  $10^\circ$ )。冲击枪倾斜的角度取决于焊趾的情况,大多情况下,冲击枪与母材表面的角度在  $40^\circ \sim 80^\circ$  范围内。冲击针在焊趾上沿焊缝纵向一定范围内反复来回冲击,如图 1 所示。

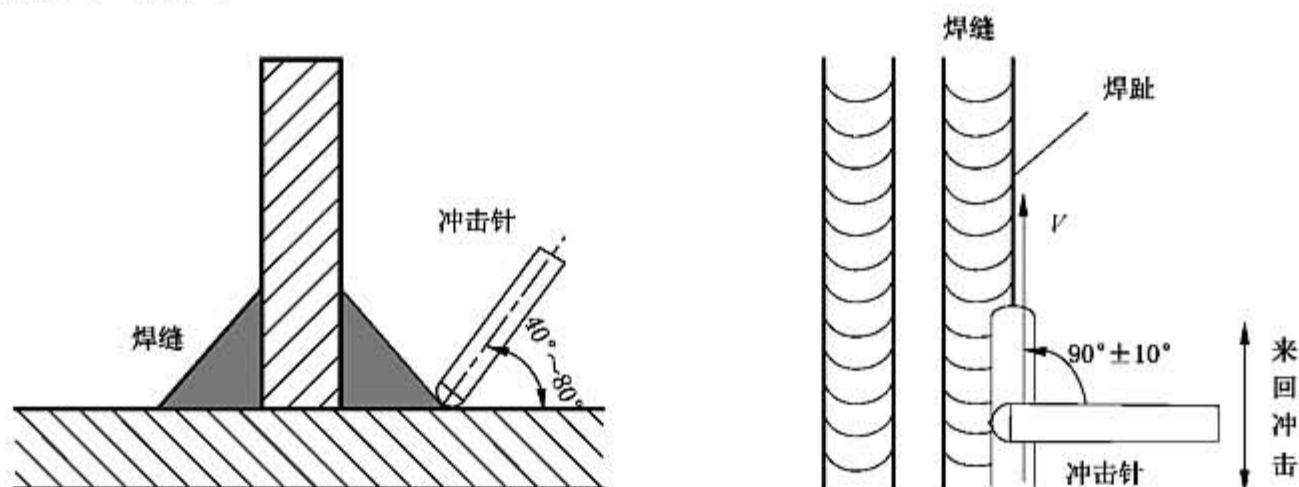


图 1 超声冲击处理基本方法

b) 可在冲击枪上施加一定的压力,以保证冲击过程平稳。

注:如果冲击枪的自重已能保证冲击过程平稳、不跳动,则操作者无需再施加压力,只需要持稳冲击枪即可。

c) 冲击处理速度  $v$  应保持在 50 mm/min~300 mm/min。对于高强钢、钛合金等高强度材料,冲击处理速度尽量靠近下限。

6.3.2 金属母材构件、尖锐过渡区域以及平面的处理与 6.3.1 相同。

6.3.3 不同材料各种工艺的常用组合参见附录 B。

6.3.4 操作过程中需要注意的事项及安全防护参见附录 C。

## 6.4 重要构件的超声冲击处理

### 6.4.1 容器

各类容器,包括常规容器和压力容器,一般只在容器内部焊缝及热影响区进行全覆盖处理。

### 6.4.2 大型厚壁构件

非储存容器类型的焊接结构,如桥梁、水电站的钢岔管、压力钢管、闸门、石化部门的反应塔、钢厂的钢包等冶金机械,一般只需要对焊趾进行处理。

### 6.4.3 其他特殊类型的焊接构件

一些特殊类型的构件如采油平台、船体外壳等也适合超声冲击处理。

## 6.5 超声冲击后处理

如需要,可在超声冲击处理后再进行光整加工处理(如振动光饰处理)。

## 7 超声冲击处理效果的评价

### 7.1 定性评价

7.1.1 如果只处理焊趾,应该在焊趾上处理出一条连续、均匀、光亮的凹槽,凹槽横截面参见附录 B。

7.1.2 可使用 5 倍~10 倍的放大镜查看凹槽,确保凹槽内的焊缝及母材都被处理到。所有的尖锐过渡、咬边和焊趾上的内隅角都应当被消除。如果有未处理到的区域,应对这些区域重新处理。

7.1.3 应避免反复处理对表面造成损伤。

7.1.4 超声冲击处理焊趾后合格及不合格的外观效果,参见附录 B。

7.1.5 如果是全覆盖冲击处理焊缝,应保证冲击覆盖率不小于 100%;肉眼观测被处理面,应当没有未处理到的区域,否则应对未处理到的区域重新处理。

### 7.2 定量评价

#### 7.2.1 覆盖率的测定方法

覆盖率的测定可以采用如下方法:

a) 在冲击处理前使用颜色与金属材料对比明显的记号笔或荧光剂在待处理区域涂抹标记,冲击处理后借助 5 倍~10 倍放大镜进行检查,根据颜色深浅来判断是否被处理到;

b) 记录当覆盖率达到 100% 时冲击处理所用的时间,采用同样长时间再冲击一遍时,覆盖率即为 200%。

### 7.2.2 残余应力的测定方法

推荐采用无损或半无损的残余应力测量方法,如射线法、压痕应变法或钻孔应变法,按照 GB/T 7704、GB/T 24179 或 GB/T 31310 执行。

## 8 试验报告

试验报告应至少包括以下内容:

- a) 本标准编号;
- b) 构件名称和描述;
- c) 超声冲击处理设备;
- d) 超声冲击处理参数;
- e) 定性或定量评价结果;
- f) 评价结论。



附 录 A  
(资料性附录)  
典型的超声冲击处理设备

### A.1 超声发生器

为保证超声冲击处理质量,超声发生器应具备频率跟踪(即发生器输出电流的频率始终与超声换能器的谐振频率一致)和恒振幅输出功能。超声冲击枪输出振幅  $a$  维持在  $10\ \mu\text{m}\sim 50\ \mu\text{m}$  之间。

### A.2 超声冲击枪

超声冲击枪有直角度冲击枪和斜角度冲击枪,其原理及外形示意图如图 A.1 所示。处理狭小空间内的结构时,直角度冲击枪可能无法处理,此时可使用斜角度冲击枪处理,如图 A.2 所示。超声冲击枪所用的超声换能器可采用磁致伸缩式或压电陶瓷式。

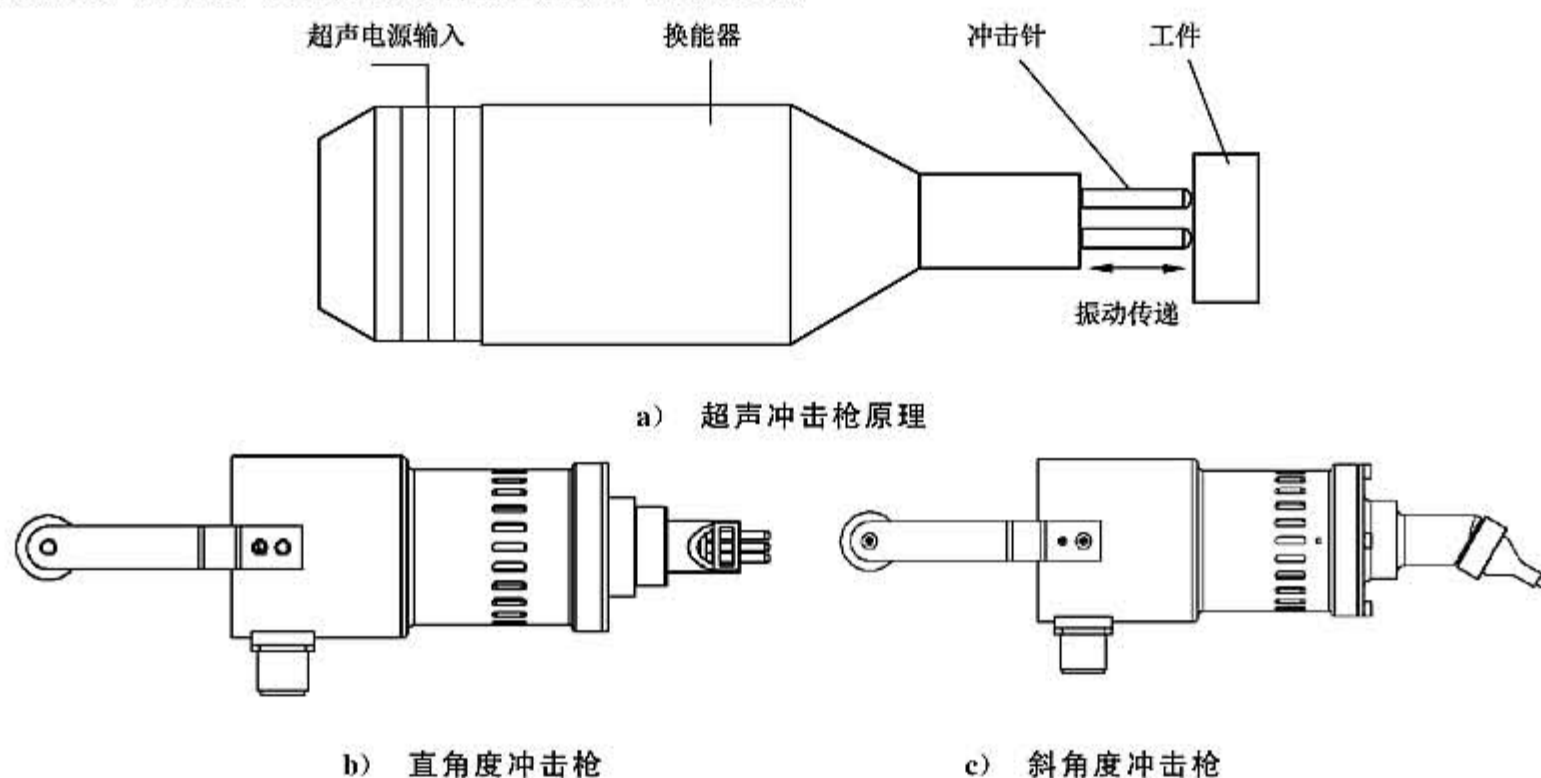


图 A.1 超声冲击枪

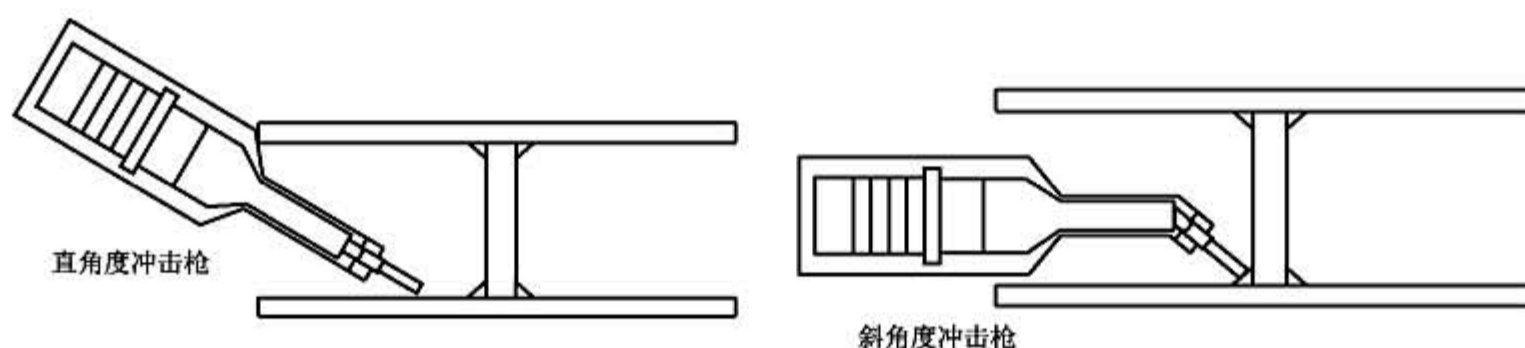
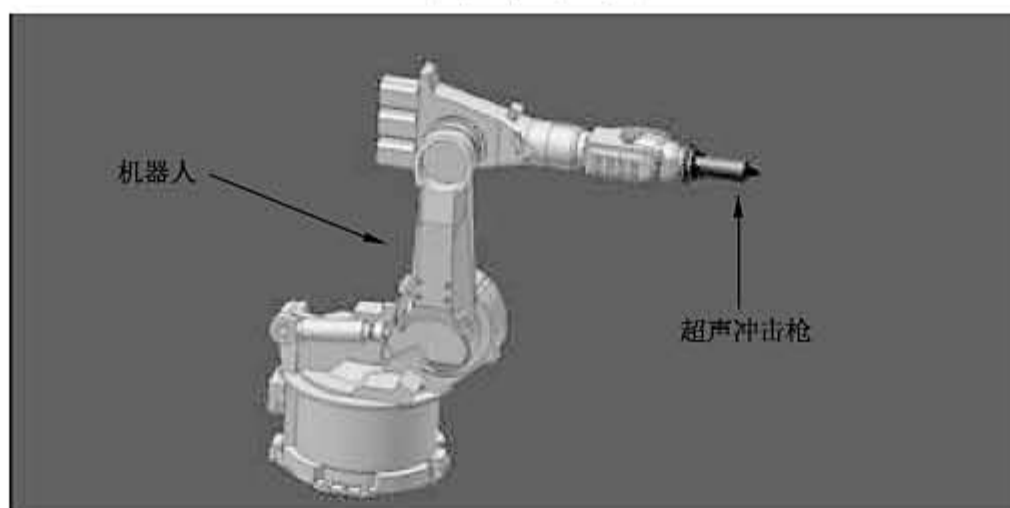


图 A.2 处理狭小空间时直角度冲击枪和斜角度冲击枪的区别

一般采用手持式超声冲击枪进行手动处理,或将超声冲击枪安装于自动机构上实现自动处理,如图 A.3 所示。



a) 手动超声冲击处理



b) 自动超声冲击处理

图 A.3 超声冲击处理方式

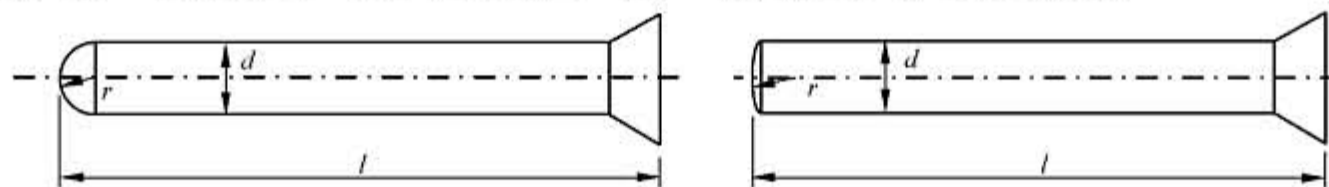
### A.3 冲击针

#### A.3.1 冲击针尺寸

冲击针尺寸主要为冲击针直径  $d$  和冲击针长度  $l$ , 如图 A.4 所示。

冲击针直径  $d$  一般为 3 mm~6 mm。一般来说, 直径越小, 焊趾部位被冲击处理到的可能性就越大, 最终焊趾会消失。直径如果过大(大于 6 mm), 冲击针头通常不会作用在焊趾部位, 而是作用在焊趾一侧的金属材料上。

冲击针长度  $l$  不宜过长, 一般不超过直径  $d$  的 10 倍, 否则冲击时容易折断。



a) 半圆形末端冲击针

b) 大圆弧末端冲击针

图 A.4 两种末端形状的冲击针

#### A.3.2 冲击针末端形状

冲击针末端形状会影响冲击处理后表面的质量。

冲击针末端按半径  $r$  可分为半圆形末端和大圆弧末端两种, 如图 A.4 所示。

半圆形末端的冲击针,  $2r=d$ ; 大圆弧末端的冲击针,  $2r>d$ 。

半圆形末端冲击针用于处理焊趾、尖锐过渡处和平面; 大圆弧末端冲击针主要用于平面处理。

### A.3.3 冲击针材料

冲击针所用材料要求硬度高、冲击韧性好, 常用材料为 W18Cr4V。

### A.3.4 冲击针排列

冲击针最常用的 3 种排列方式如图 A.5 所示:

- 冲击焊趾或金属母材尖锐过渡处时, 采用单根冲击针或单排多根冲击针;
- 处理拐角及补充处理时使用单根冲击针;
- 对焊缝或金属平面全覆盖冲击处理时, 应采用冲击针阵列。



a) 单根冲击针

b) 单排多根冲击针

c) 冲击针阵列

图 A.5 冲击针的排列方式

**附录 B**  
(资料性附录)  
**超声冲击处理工艺质量控制**

**B.1 建立合理的超声冲击处理工艺**

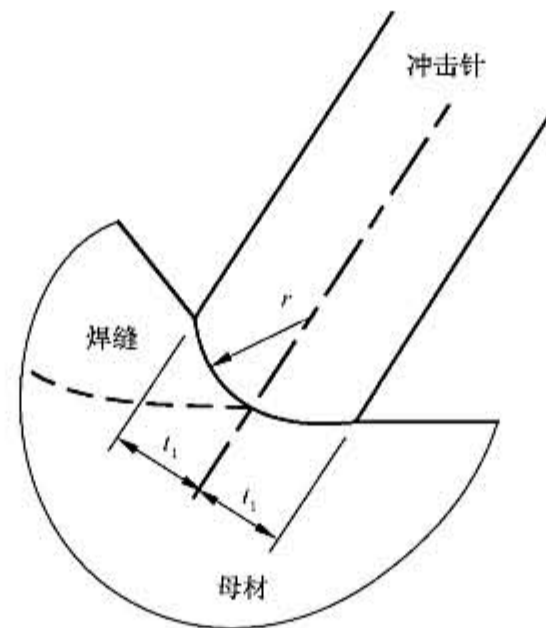
选择有代表性的金属结构件(或典型焊接接头)进行反复试验,挑选出该种结构最佳的处理工艺。不同金属材料的常用工艺参数可参考表 B.1。超声冲击处理后合格的焊趾形状如图 B.1 所示,焊缝一侧的凹槽宽度  $t_1$  应与母材一侧的凹槽宽度  $t_2$  大致相等。超声冲击处理后不合格和合格的焊趾外观如图 B.2 所示。

**表 B.1 超声冲击处理常用工艺参数**

材料	振幅 $a$ $\mu\text{m}$	冲击针直径 $d$ mm
铝合金、镁合金	10~30	3~6
中低强钢	20~40	3~5
高强钢	30~50	3~4
钛合金	30~50	3~4

**注:** 具体材料、结构的超声冲击处理工艺参数还包括处理遍数、处理速度、冲击针末端形状、施加压力等,各工艺参数之间是相互影响的。要达到某个具体的处理效果,工艺参数可以有多种不同的排列组合,其中振幅  $a$ 、冲击针直径  $d$  是最主要的。在振幅  $a$ 、冲击针直径  $d$  确定的情况下,其他工艺参数的范围也大致确定,因此表 B.1 只列出振幅  $a$  和冲击针直径  $d$ 。振幅  $a$  和冲击针直径  $d$  由用户根据处理要求确定,如果对处理表面有光洁度要求,则振幅  $a$  应偏小,冲击针直径  $d$  偏大;如果要求塑性变形层尽量大,则振幅  $a$  应偏大。

用户要建立具体的工艺参数,可参考以下原则并通过试验来确定:所处理材料的屈服强度越高,则振幅加大、冲击针直径减小、处理遍数增多、处理速度减慢、冲击针末端半径减小、施加压力加大。一般只需要变化几种工艺参数即可适应不同材料的处理要求。



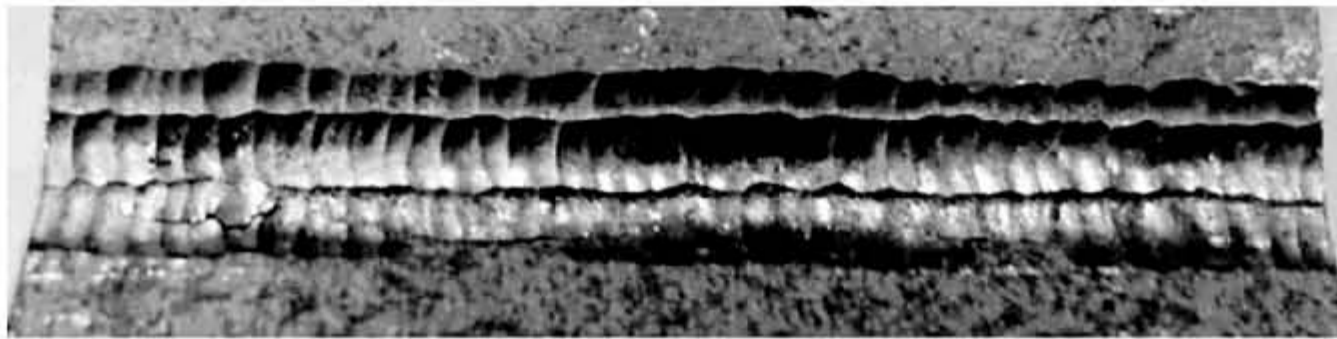
说明：

$r$  ——冲击针末端半径；

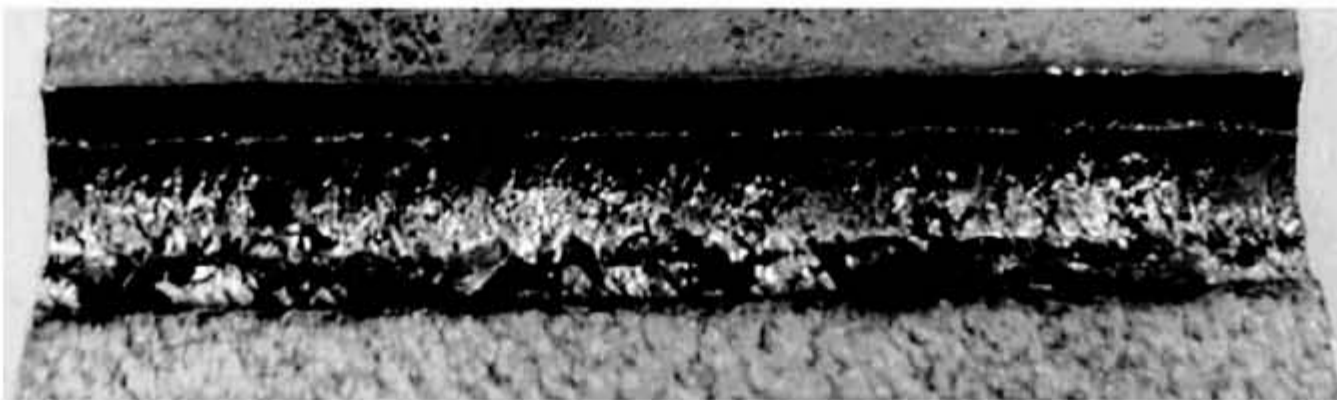
$t_1$  ——焊趾区焊缝一侧的凹槽宽度；

$t_2$  ——焊趾区母材一侧的凹槽宽度。

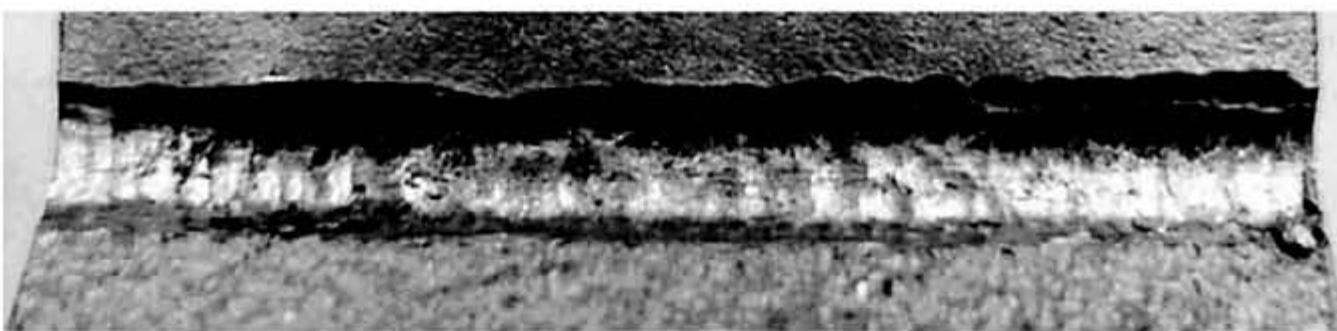
图 B.1 超声冲击处理后的焊趾截面



a) 不合格：有独立压痕，覆盖率不够



b) 不合格：过处理，造成表面损伤



c) 合格：充分覆盖，凹槽连续光滑

图 B.2 超声冲击处理焊趾外观效果

经过长时间使用后,冲击针末端会磨损变钝,此时需要更换冲击针或将冲击针末端重新打磨成原始形状。

### B.2 避免叠形缺陷

超声冲击时发生塑性变形的金属如果叠加在原始表面上,会留下类似冷裂纹形状的缝隙,如图 B.3 所示,这种缝隙称为叠形缺陷。叠形缺陷会导致疲劳性能降低,因此要避免叠形缺陷的产生。冲击处理前轻微打磨焊趾能较大程度避免叠形缺陷的产生。冲击处理后采用渗透探伤方法来检测是否存在叠形缺陷,再次轻微打磨焊趾可消除叠形缺陷。

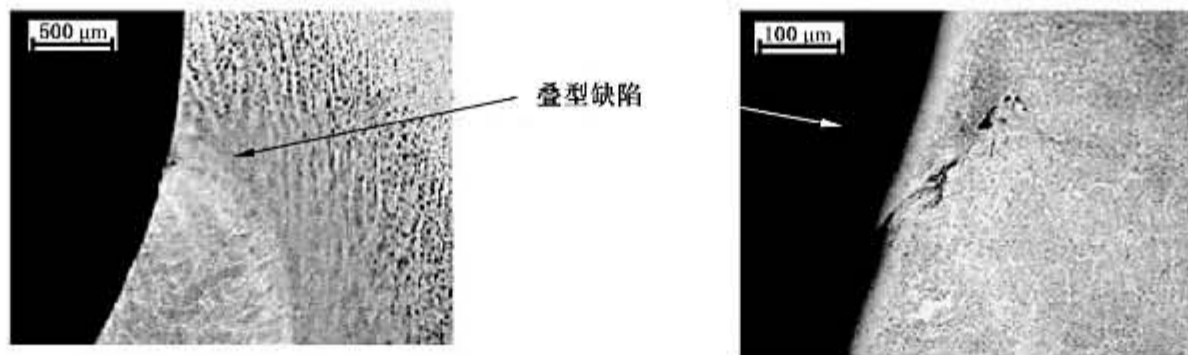


图 B.3 超声冲击处理产生的叠形缺陷

## 附录 C

(资料性附录)

### 超声冲击处理注意事项与安全防护

#### C.1 超声冲击处理的注意事项

C.1.1 超声冲击处理后的结构在使用中承受压缩载荷,冲击效果会减弱。

C.1.2 超声冲击处理后的结构在使用中受到高值拉伸载荷作用,冲击效果也会减弱。如在结构承载后再实施超声冲击处理,冲击效果会更好。

C.1.3 超声冲击处理之后,建议不再进行像热处理、热浴镀锌、预过载等能释放压缩残余应力的措施。

#### C.2 安全防护

C.2.1 超声冲击过程会产生严重的噪声及金属屑飞溅,操作者需要采用护耳用具和眼罩进行保护。

C.2.2 超声冲击枪震动可能会引起身体的不适,操作者应佩戴衰减振动的手套,建议不要连续长时间工作。



参 考 文 献

- [1] IIW Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components IIW-XIII-2151r1-07/XV-1254r1-07
- [2] AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications 3rd Edition 2010
- [3] 王东坡, 霍立兴, 张玉凤, 杨新歧, 荆洪阳. 超声冲击法提高低碳钢焊接接头疲劳强度的研究 [J]. 机械强度, 1999, (04): 289—291+306.
- [4] 王东坡, 张玉凤, 霍立兴. 超声冲击处理焊接接头焊趾区材料的疲劳性能 [J]. 天津大学学报, 2001, (01): 13-17.
- [5] 王东坡, 霍立兴, 葛宝文, 张玉凤. 超声冲击法改善高强钢焊接接头的疲劳性能 [J]. 中国造船, 2003, (04): 89-95.
- [6] 赵小辉, 王东坡, 王惜宝, 邓彩艳, 祖志强. 承载超声冲击提高 TC4 钛合金焊接接头的疲劳性能 [J]. 焊接学报, 2010, (11): 57—60+115—116.
- [7] WANG T, WANG D, HUO L, ZHANG Y. Discussion on fatigue design of welded joints enhanced by ultrasonic peening treatment (UPT) [J]. International Journal of Fatigue, 2009, 31(4): 644-650.
- [8] YIN D, WANG D, JING H, HUO L. The effects of ultrasonic peening treatment on the ultra-long life fatigue behavior of welded joints [J]. Materials & Design, 2010, 31(7): 3299-3307.
-



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属材料 残余应力 超声冲击处理法  
GB/T 33163—2016

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

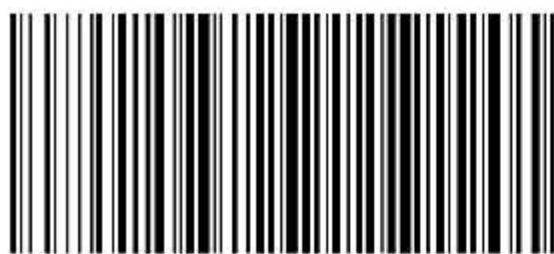
服务热线: 400-168-0010

2016年11月第一版

\*

书号: 155066·1-55234

版权专有 侵权必究



GB/T 33163-2016