



中华人民共和国国家标准

GB/T 43656—2024

焊接加工能耗检测方法

Test methods for energy consumption during welding processing

2024-03-15发布

2024-07-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 检测仪器要求 3

6 能耗检测范围及种类 3

7 检测及计算方法 3

8 检测报告 7

附录 A (资料性) 熔化焊单位合格焊件焊缝质量、长度折算系数 8

附录 B (资料性) 压力焊单位合格焊件焊缝质量折算系数 10

附录 C (资料性) 摩擦焊单位合格焊件焊缝长度折算系数 12

附录 D (资料性) 钎焊单位合格焊件焊缝面积折算系数 14

附录 E (资料性) 激光填丝焊接加工过程能耗计算示例 16

附录 F (资料性) 感应钎焊加工过程能耗计算示例 20

参考文献 23

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国绿色制造技术标准化技术委员会(SAC/TC337)提出并归口。

本文件起草单位：郑州机械研究所有限公司、北京博清科技有限公司、中机生产力促进中心有限公司、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、深圳市麦格米特焊接技术有限公司、广东省鑫全利激光智能装备有限公司、中国焊接协会、河北创力机电科技有限公司、中国重汽集团济南动力有限公司、黑龙江科技大学、安徽博清自动化科技有限公司、上海工程技术大学、上海模呈信息技术有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、南昌航空大学、合肥工业大学、华北水利水电大学、中车南京浦镇车辆有限公司、南京埃斯顿电气有限公司、长春中车轨道车辆科技开发有限公司、河间市睿创检测技术有限公司、中煤北京煤矿机械有限责任公司、国营川西机器厂、中环联合(北京)认证中心有限公司、中建安装集团有限公司。

本文件主要起草人：龙伟民、冯消冰、孙婷婷、徐锴、韩晓辉、严琴、李海波、李连胜、李旭、王永东、李海龙、方乃文、秦建、张殿平、李海漪、张天理、王兆臣、陈志刚、夏斌、陈玉华、赵瑞荣、武鹏博、吴玉程、王星星、刘大双、火巧英、何志军、马青军、何广忠、韦敬、王亮忠、荆东青、彭东、单明威、严文荣、李敬贤、宋南。

焊接加工能耗检测方法

1 范围

本文件规定了熔化焊、压力焊和钎焊等焊接方法在加工过程中的能耗检测总体要求、检测仪器要求、能耗检测范围及种类、检测及计算方法和检测报告。

本文件适用于熔化焊、压力焊和钎焊等焊接方法在加工过程中(包括空载和焊接)能耗的检测,其他焊接方法可参照执行。能耗检测不包括焊前预热及焊后热处理等过程消耗的能量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 156 标准电压
- GB/T 2589—2020 综合能耗计算通则
- GB/T 2900.22 电工名词术语 电焊机
- GB/T 3375 焊接术语
- GB 9448 焊接与切割安全
- GB 17167—2006 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- GB/T 32201 气体流量计
- GB/T 39751—2021 装备制造系统能耗检测方法 导则

3 术语和定义

GB/T 2589—2020、GB/T 2900.22、GB/T 3375和 GB/T 39751—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1
焊接加工 welding processing
焊接设备操作人员使用焊接设备完成某一工件焊接的过程。
- 3.2
空载状态 no-load condition
外部焊接回路处于开路时的状态。
- 3.3
焊接状态 welding condition
焊接设备处于焊接加工时的运行状态。
- 3.4
空载功率 no-load power
焊接设备处于空载状态时的输入功率。

3.5

焊接功率 welding power

焊接设备处于焊接状态时的输入功率。

3.6

焊接加工过程总能耗 total energy consumption during welding processing

在统计报告周期内焊接加工某种产品实际消耗的各种能源总量,按规定的计算方法和单位分别折算后的能耗总和。

4 总体要求

4.1 供电电源

焊接设备供电电源应符合 GB/T 156 的规定,并满足下列要求:

- a) 电网电压的波动在额定值的 $\pm 10\%$ 范围内;
- b) 电网电压频率的波动在额定值的 $\pm 1\%$ 范围内;
- c) 三相电压允许不平衡度在 $\pm 4\%$ 范围内。

4.2 检测方案

进行能耗检测时,应编制检测方案,其内容应至少包括以下内容:

- a) 检测范围;
- b) 检测依据;
- c) 检测参数及相应的检测方法和计算方法;
- d) 检测仪器仪表;
- e) 检测工况、检测进行时间和各项参数检测程序;
- f) 检测记录表格。

4.3 检测条件

进行焊接加工过程能耗检测时,满足以下检测条件。

- a) 能源计量器具应符合 GB 17167—2006 的相关要求。
- b) 检测过程应在焊接设备正常运行且工况稳定的条件下进行。
- c) 各参数的检测数据应不少于 3 组并取其算术平均值。
- d) 检测人员应经过相关培训。
- e) 焊接加工期间周围环境温度范围: $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- f) 空气相对湿度:
 - 1) 焊接加工期间周围环境温度处于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,空气相对湿度不应超过 90%;
 - 2) 焊接加工期间周围环境温度大于或等于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,空气相对湿度不应超过 70%。
- g) 周围空气中的灰尘、酸、腐蚀性物质等不应影响焊接加工,由于焊接加工过程而产生的这些物质除外。
- h) 海拔高度不宜超过 1 000 m。
- i) 检测地点的环境以及所采用的测量仪器不应妨碍焊接设备的正常通风或导致热交换异常。

4.4 人员安全

人员及工作区域的防护、通风、消防措施、设备及操作等安全要求应符合 GB 9448 的相关规定。

5 检测仪器要求

5.1 三相功率计

采用三相功率计采样记录输入功率:采样频率不低于 50 Hz。

5.2 示波器

采用多通道示波器实时监测输出电压、输出电流等参数与时间的频谱图:

- a) 示波器带宽不小于 100 MHz;
- b) 示波器采样速率不低于 2.5 GS/s;
- c) 示波器的最大存贮深度不低于 10 Mpts。

5.3 电能表

采用电能表采样记录输出能耗:

- a) 电能表准确度应满足 GB 17167—2006中规定的 0.5S级要求;
- b) 采样点不小于 32个。

5.4 气体流量计

气体流量计应符合 GB/T 32201的规定,且能够记录气体体积累积量。

6 能耗检测范围及种类

6.1 焊接加工过程的能耗数据检测范围包括空载能耗、焊接加工能耗和气体能耗。

6.2 统计不同焊接方法能源消耗时应按照 GB/T 2589—2020中第 6 章的原则,将能耗折算为标准煤,其折算系数及能源统计单位参照 GB/T 39751—2021中附录 A 和附录 B 的规定。

注:对焊接加工过程总能耗占比不超过 1%的能耗,可忽略不计。

6.3 焊接加工过程所需检测、计量的能源种类符合 GB/T 39751—2021 中第 4 章的规定,主要包括空载和焊接加工过程消耗的电能、辅助焊接加工消耗的气体能源等。

7 检测及计算方法

7.1 能耗评价指标

7.1.1 焊接加工过程的能耗评价指标包括单位合格焊件焊缝质量可比能耗、单位合格焊件焊缝长度可比能耗、单位合格焊件焊缝面积可比能耗。

7.1.2 单位合格焊件焊缝质量、长度、面积可比能耗指统计期内焊接加工过程总能耗与合格焊件焊缝折合质量、长度、面积的比值。合格焊件焊缝折合质量、长度、面积是综合考虑焊件复杂程度、材质及层温等因素后经折算的合格焊件焊缝质量、长度、面积,计算其过程涉及的相关系数见附录 A~附录 D。

7.1.3 焊接加工过程中需要填充焊接材料的熔化焊焊接方法在进行能耗对比分析时选用单位合格焊件焊缝质量可比能耗;焊接过程中不需要填充焊接材料的熔化焊焊接方法在进行能耗对比分析时选用单位合格焊件焊缝长度可比能耗。除了摩擦焊选用单位合格焊件焊缝长度可比能耗外,其他压力焊焊接方法在进行能耗对比分析时选用单位合格焊件焊缝质量可比能耗;钎焊焊接方法在进行能耗对比分析时选用单位合格焊件焊缝面积可比能耗。

7.2 检测项目及检测方法

7.2.1 焊接加工过程需要检测的项目及检测方法如下：

- a) 电能消耗量通过安装在用能设备上的电能表检测；
- b) 保护气体、可燃性气体、助燃气体、动力气体、压缩气体的消耗量用气体体积流量计检测，当保护气体为混合气体时，应分别测量基体气体和各组分气体体积，如果焊接时使用了除保护气体外的其他气体，也应纳入测量范围；
- c) 合格焊件焊缝质量用衡器检测；
- d) 合格焊件焊缝长度用游标卡尺、激光测长仪等长度测量工具进行检测；
- e) 合格焊件焊缝面积用面积仪检测，或由供需双方协商确定的其他可以测量焊缝面积的方法检测。

7.2.2 焊接加工过程能耗检测示例见附录 E~ 附录 F。

7.3 计算方法

7.3.1 空载能耗

空载能耗为各空载时段能耗之和，各空载时段能耗的获取方法为空载结束时刻的能耗减去空载开始时刻的能耗，按公式(1)和公式(2)计算。

$$E_u = \sum_{i=1}^{Q_u} E_u^i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$E_u^i = E_{u-end}^i - E_{u-start}^i \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- E_u — 空载时段能耗，单位为千克标准煤(kgce)；
- Q_u — 空载时段的数量；
- E_u^i — 空载时段 i 消耗的能量，单位为千克标准煤(kgce)；
- E_{u-end}^i — 空载时段 i 结束时刻的输入能量，单位为千克标准煤(kgce)；
- $E_{u-start}^i$ — 空载时段 i 开始时刻的输入能量，单位为千克标准煤(kgce)。

7.3.2 焊接加工能耗

焊接加工能耗为各焊接时段能耗之和，各焊接时段能耗的获取为焊接结束时刻的能耗减去焊接开始时刻的能耗，按公式(3)和公式(4)计算。

$$E_{weld} = \sum_{i=1}^{Q_{weld}} E_{weld}^i \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$E_{weld}^i = E_{weld-end}^i - E_{weld-start}^i \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- E_{weld} — 焊接加工能耗，单位为千克标准煤(kgce)；
- Q_{weld} — 焊接时段的数量；
- E_{weld}^i — 焊接时段 i 消耗的能量，单位为千克标准煤(kgce)；
- $E_{weld-end}^i$ — 焊接时段 i 结束时刻的输入能量，单位为千克标准煤(kgce)；
- $E_{weld-start}^i$ — 焊接时段 i 开始时刻的输入能量，单位为千克标准煤(kgce)。

7.3.3 气体能耗

当焊接加工过程使用保护气体、可燃性气体、助燃气体、动力气体及压缩气体时，应使用符合

GB/T 32201要求的气体流量计进行气体累积量测量,其能耗按公式(5)计算。

$$E_{gas} = \sum_{i=1}^{N_{gas}} p_i V_{gas}^i \dots\dots\dots (5)$$

- 式中：
- E_{gas} — 气体能耗,单位为千克标准煤(kgce)；
 - N_{gas} — 焊接气体组分数；
 - p_i — 组分为*i*气体的折标准煤系数,单位为千克标准煤每立方米(kgce/m³)；
 - V_{gas}^i — 组分为*i*气体累积量,单位为立方米(m³)。

7.3.4 焊接加工过程总能耗

焊接加工过程总能耗为空载能耗、焊接加工能耗及气体能耗之和,按公式(6)计算。

$$E_H = E_u + E_{weld} + E_{gas} \dots\dots\dots (6)$$

- 式中：
- E_H — 焊接加工过程总能耗,单位为千克标准煤(kgce)；
 - E_u — 空载时段能耗,单位为千克标准煤(kgce)；
 - E_{weld} — 焊接加工能耗,单位为千克标准煤(kgce)；
 - E_{gas} — 气体能耗,单位为千克标准煤(kgce)。

7.3.5 合格焊件焊缝折合质量、长度和面积

7.3.5.1 熔化焊合格焊件焊缝折合质量按公式(7)计算:

$$G_H = \sum_{j=1}^n G_{Hj} R_{1j} R_{2j} R_{3j} R_{4j} \dots\dots\dots (7)$$

- 式中：
- G_H — 统计期内熔化焊合格焊件焊缝折合质量,单位为吨(t)；
 - n — 合格焊件焊缝种类数；
 - G_{Hj} — 统计期内第*j*类熔化焊合格焊件焊缝质量,单位为吨(t)；
 - R_{1j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的焊件复杂系数 R_1 值；
 - R_{2j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的焊件用焊接材料系数 R_2 值；
 - R_{3j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的层间温度控制系数 R_3 值；
 - R_{4j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的工件材料系数 R_4 值。

7.3.5.2 熔化焊合格焊件焊缝折合长度按公式(8)计算:

$$G_L = \sum_{j=1}^n G_{Lj} R_{1j} R_{2j} R_{3j} R_{4j} \dots\dots\dots (8)$$

- 式中：
- G_L — 统计期内熔化焊合格焊件焊缝折合长度,单位为米(m)；
 - n — 合格焊件焊缝种类数；
 - G_{Lj} — 统计期内第*j*类熔化焊合格焊件焊缝长度,单位为米(m)；
 - R_{1j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的焊件复杂系数 R_1 值；
 - R_{2j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的焊件用焊接材料系数 R_2 值；
 - R_{3j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的层间温度控制系数 R_3 值；
 - R_{4j} — 第*j*类合格焊件焊缝对应的工件材料系数 R_4 值。

7.3.5.3 压力焊合格焊件焊缝折合质量按公式(9)计算:

$$G_M = \sum_{j=1}^n G_{Mj} R_{1j} R_{4j} R_{5j} R_{6j} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

G_M —统计期内压力焊合格焊件焊缝折合质量，单位为吨(t)；

n —合格焊件焊缝种类数；

G_{Mj} —统计期内第 j 类压力焊合格焊件焊缝质量，单位为吨(t)；

R_{1j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的焊件复杂系数 R_1 值；

R_{4j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的工件材料系数 R_4 值；

R_{5j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的焊件形状系数 R_5 值；

R_{6j} —第 j 类合格焊件焊缝对应所需的脉冲数量系数 R_6 值。

7.3.5.4 摩擦焊合格焊件焊缝折合长度按公式(10)计算：

$$G_O = \sum_{j=1}^n G_{Oj} R_{1j} R_{4j} R_{7j} R_{8j} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

G_O —统计期内摩擦焊合格焊件焊缝折合长度，单位为米(m)；

n —合格焊件焊缝种类数；

G_{Oj} —统计期内第 j 类摩擦焊合格焊件焊缝长度，单位为米(m)；

R_{1j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的焊件复杂系数 R_1 值；

R_{4j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的工件材料系数 R_4 值；

R_{7j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的结构系数 R_7 值；

R_{8j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的长度系数 R_8 值。

7.3.5.5 钎焊合格焊件焊缝折合面积按公式(11)计算：

$$G_K = \sum_{j=1}^n G_{Kj} R_{1j} R_{2j} R_{4j} R_{9j} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

G_K —统计期内钎焊合格焊件焊缝折合面积，单位为平方米(m^2)；

n —合格焊件焊缝种类数；

G_{Kj} —统计期内第 j 类钎焊合格焊件焊缝面积，单位为平方米(m^2)；

R_{1j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的焊件复杂系数 R_1 值；

R_{2j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的焊件用焊接材料系数 R_2 值；

R_{4j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的工件材料系数 R_4 值；

R_{9j} —第 j 类合格焊件焊缝对应的预热温度控制系数 R_9 值。

7.3.6 单位合格焊件焊缝质量、长度、面积可比能耗

单位合格焊件焊缝质量、长度、面积可比能耗按公式(12)~公式(16)计算：

$$e_H = \frac{E_H}{G_H} \dots\dots\dots (12)$$

$$e_L = \frac{E_H}{G_L} \dots\dots\dots (13)$$

$$e_M = \frac{E_H}{G_M} \dots\dots\dots (14)$$

$$e_O = \frac{E_H}{G_O} \dots\dots\dots (15)$$

$$e_K = \frac{E_H}{G_K} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- e_H — 熔化焊(需要填充焊接材料)单位合格焊件焊缝质量可比能耗,单位为千克标准煤每吨(kgce/t)；
- E_H — 焊接加工过程总能耗,单位为千克标准煤(kgce)；
- G_H — 统计期内熔化焊合格焊件焊缝折合质量,单位为吨(t)；
- e_L — 熔化焊(不需要填充焊接材料)单位合格焊件焊缝长度可比能耗,单位为千克标准煤每米(kgce/m)；
- G_L — 统计期内熔化焊合格焊件焊缝折合长度,单位为米(m)；
- e_M — 压力焊单位合格焊件焊缝质量可比能耗,单位为千克标准煤每吨(kgce/t)；
- G_M — 统计期内压力焊合格焊件焊缝折合质量,单位为吨(t)；
- e_O — 摩擦焊单位合格焊件焊缝长度可比能耗,单位为千克标准煤每米(kgce/m)；
- G_O — 统计期内摩擦焊合格焊件焊缝折合长度,单位为米(m)；
- e_K — 钎焊单位合格焊件焊缝面积可比能耗,单位为千克标准煤每平方米(kgce/m²)；
- G_K — 统计期内钎焊合格焊件焊缝折合面积,单位为平方米(m²)。

8 检测报告

8.1 焊接加工能耗检测报告封面的基本内容包括：

- a) 检测项目名称及项目编号；
- b) 检测地点；
- c) 检测日期；
- d) 检测单位；
- e) 委托单位；
- f) 报告编写人员、审核人员及批准人员。

8.2 焊接加工能耗检测报告正文的内容包括：

- a) 检测的范围、任务和目的；
- b) 检测项目；
- c) 检测依据(方法标准)；
- d) 检测环境信息；
- e) 检测点布置和检测仪器相关信息；
- f) 记录能耗量及能耗计算结果；
- g) 能耗检测结果分析；
- h) 检测信息(见表 A.5、表 B.5、表 C.5、表 D.5)；
- i) 其他信息。

附录 A
(资料性)

熔化焊单位合格焊件焊缝质量、长度折算系数

A.1 合格焊件焊缝质量、长度折算系数

A.1.1 根据焊接位置评定技术等级,确定焊件复杂系数 R_1 ,见表 A.1。

表 A.1 焊件复杂系数 R_1

焊接位置	平焊(PA)、平角焊(PB)	横焊(PC)	立向上焊(PF)、立向下焊(PG)	仰焊(PE)、仰角焊(PD)
复杂系数	1.0	1.05	1.2	1.4

A.1.2 根据焊接材料熔敷效率评定技术等级,确定焊件用焊接材料系数 R_2 。其中,在熔化焊接过程中不需要填充焊接材料的熔化焊接方法的焊接材料系数 R_2 取 1.0,在熔化焊接过程中需要填充焊接材料的熔化焊接方法的焊接材料系数 R_2 见表 A.2。

表 A.2 焊件用焊接材料系数 R_2

材料分类	电焊条	实心焊丝	药芯焊丝	埋弧焊丝及焊剂
焊接材料系数	1.20	1.05	1.10	1.20

A.1.3 根据焊接加工过程层间温度控制范围评定技术等级,确定层间温度控制系数 R_3 。其中,在熔化焊接过程中不要填充焊接材料的熔化焊接方法的层间温度控制系数 R_3 取 1.0,在熔化焊接过程中需要填充焊接材料的熔化焊接方法的焊接材料系数 R_3 见表 A.3。

表 A.3 层间温度控制系数 R_3

温度区间	<100℃			100℃~200℃			>200℃		
焊缝长度	<1 m	1 m~3 m	>3 m	<1 m	1 m~3 m	>3 m	<1 m	1 m~3 m	>3 m
层间温度控制系数	1.02	1.01	0.97	0.96	0.95	0.92	0.95	0.94	0.92

A.1.4 根据焊接加工材料评定技术等级,确定工件材料系数 R_4 ,见表 A.4。

表 A.4 工件材料系数 R_4

工件材料	碳钢	合金钢	不锈钢	镍基合金	有色金属材料
工件材料系数	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5

A.2 焊接能耗检测信息

焊接加工能耗检测信息见表 A.5。

表 A.5 检测信息

方法及设备		焊接方法		焊接电源型号	
		焊接电源名称		焊接电源执行标准	
材料		母材型号		母材规格/mm	
		母材炉(批号)		母材执行标准	
		焊接材料型号(牌号)		焊接材料规格/mm	
		焊接材料批号		焊接材料执行标准	
		保护气体种类		保护气体流量/(L/min)	
		层间温度/℃		预热温度/℃	
工艺	电弧焊	电流类型		焊接电流/A	
		电弧电压/V		焊丝干伸长/mm	
		焊接速度/(mm/min)		送丝速度/(mm/min)	
	激光焊、激光电 弧复合焊、激光 填丝焊	激光束功率/kW		激光枪倾斜角/(°)	
		离焦量/mm		摆动方式	
		摆动频率/Hz		摆动幅度/mm	
		激光束峰值功率/kW		脉宽/ms	
		脉冲频率/Hz		占空比/%	
		光丝间距/mm		焊枪倾斜角/(°)	
		焊接速度/(mm/min)		送丝速度/(mm/min)	
		电流类型		焊丝干伸长/mm	
		焊接电流/A		电弧电压/V	
	电子束焊	加速电压/kV		束流/mA	
		聚焦电流/A		工作室压力/Pa	
		焊接速度/(mm/min)		层间温度/℃	
焊接接头型式简图					

附 录 B

(资料性)

压力焊单位合格焊件焊缝质量折算系数

B.1 合格焊件焊缝质量折算系数

B.1.1 根据焊接母材层数评定技术等级,确定焊件复杂系数 R_1 ,见表 B.1。

表 B.1 焊件复杂系数 R_1

焊接母材层数	双层焊	三层焊	四层焊
复杂系数	1.0	1.02	1.05

B.1.2 根据焊接加工材料评定技术等级,确定工件材料系数 R_4 ,见表 B.2。

表 B.2 工件材料系数 R_4

工件材料	不锈钢	碳钢	钛合金	镁合金	铝合金
工件材料系数	1.0	1.2	1.6	2.6	2.7

B.1.3 根据焊接加工材料形状评定技术等级,确定焊件形状系数 R_5 ,见表 B.3。

表 B.3 焊件形状系数 R_5

工件形状	板件	杆件	管件	环形件
焊件形状系数	1.0	1.1	1.2	1.3

B.1.4 根据焊接加工过程脉冲频次评定技术等级,确定脉冲数量系数 R_6 ,见表 B.4。

表 B.4 脉冲数量系数 R_6

脉冲频次	1次	2次	3次	4次
脉冲数量系数	1.0	1.2	1.3	1.4

B.2 焊接能耗检测信息

焊接加工能耗检测信息见表 B.5。

表 B.5 检测信息

方法及设备		焊接方法		焊接电源型号	
		焊接电源名称		焊接电源执行标准	
		电流类型		焊接方式	
材料		母材型号		母材规格/mm	
		母材炉(批号)		母材执行标准	
工艺	电阻点焊、 电阻缝焊	电源型号		电极直径、宽度/mm	
		电极材料		电极外形	
		初始加压/ms		焊接电流 1/kA	
		焊接时间 1/ms		冷却时间 1/ms	
		焊接电流 2/kA		焊接时间 2/ms	
		冷却时间 2/ms		焊接电流 3/kA	
		焊接时间 3/ms		电极压力/kN	
		保持时间/ms		脉冲数	
		冷却方式		熔核直径/mm	
		焊点个数		焊核折算质量/kg	
焊接接头型式简图					

附 录 C
(资料性)

摩擦焊单位合格焊件焊缝长度折算系数

C.1 合格焊件焊缝质量折算系数

C.1.1 根据焊接位置评定技术等级,确定焊件复杂系数 R_1 ,见表 C.1。

表 C.1 焊件复杂系数 R_1

焊接位置	平焊(PA)、平角焊(PB)	横焊(PC)	立向上焊(PF)、立向下焊(PG)	仰焊(PE)、仰角焊(PD)
复杂系数	1.0	1.05	1.2	1.4

C.1.2 根据焊接加工材料的硬度、熔点等,确定工件材料系数 R_4 ,见表 C.2。

表 C.2 工件材料系数 R_4

工件材料	铝合金	不锈钢	钛合金	碳钢	铜合金
工件材料系数	1.0	2.2	2.3	2.6	2.9

C.1.3 根据焊件结构类型差异,确定焊件结构系数 R_7 ,见表 C.3。

表 C.3 焊件结构系数 R_7

结构分类	板材	型材	管材	棒材
焊件结构系数	1.0	1.2	1.3	1.4
注: 搅拌摩擦焊和线性摩擦焊适用于板材和型材的焊接; 惯性摩擦焊适用于管材和棒材的焊接。				

C.1.4 根据焊接加工过程散热效率,确定焊缝长度系数 R_8 ,见表 C.4。

表 C.4 焊缝长度系数 R_8

焊缝长度	<0.3 m	0.3 m~1 m	>1 m
焊缝长度系数	1.0	0.95	0.90

C.2 焊接能耗检测信息

焊接加工能耗检测信息见表 C.5。

表 C.5 检测信息

方法及设备		焊接方法		焊接电源型号	
		焊接电源名称		焊接电源执行标准	
		电流种类		焊接方式	
材料		母材型号		母材规格/mm	
		母材炉(批号)		母材执行标准	
工艺	搅拌摩擦焊	旋转速度/(r/min)		压入量或主轴压力/kN	
		倾斜角/(°)		侧倾角/(°)	
		驻留时间/s		焊接速度/(mm/min)	
		预热温度/℃		预热保持温度/℃	
		焊后热处理温度/℃		焊后热处理时间/ms	
		接头间隙/mm		焊缝长度/mm	
	惯性摩擦焊	惯量/(kg·m ²)		摩擦转速/(r/min)	
		顶锻压力/kN		顶锻变形量/mm	
	线性摩擦焊	摩擦压力/kN		振幅/mm	
		振动频率/Hz		摩擦时间/s	
		缩短量/mm		待焊焊件总长度/m	
焊接接头型式简图					

附录 D
(资料性)

钎焊单位合格焊件焊缝面积折算系数

D.1 合格焊件焊缝面积折算系数

D.1.1 根据焊接形式评定技术等级,确定焊件复杂系数 R_1 ,见表 D.1。

表 D.1 焊件复杂系数 R_1

焊缝形式	断面-断面钎缝(对接)	表面-表面钎缝(搭接)	断面-表面钎缝(T接)
复杂系数	1.3	1.0	1.2

D.1.2 根据焊接材料铺展效率评定技术等级,确定焊件用焊接材料系数 R_2 ,见表 D.2。

表 D.2 焊件用焊接材料系数 R_2

材料分类	药芯钎料	药皮钎料	实心钎料
焊接材料系数	1.1	1.2	1.05

D.1.3 根据焊接加工材料评定技术等级,确定工件材料系数 R_4 ,见表 D.3。

表 D.3 工件材料系数 R_4

工件材料	印制电路板焊盘	碳钢	硬质合金	合金钢	不锈钢	镍基合金	有色金属材料
工件材料系数	0.7	1.0	1.05	1.1	1.3	1.4	1.5

D.1.4 根据焊接加工过程预热温度控制范围评定技术等级,确定预热温度控制系数 R_9 ,见表 D.4。

表 D.4 预热温度控制系数 R_9

温度区间	<100℃			100℃~250℃			>250℃		
焊缝面积	<10 ⁻³ m ²	10 ⁻³ m ² ~ 10 ⁻² m ²	>10 ⁻² m ²	<10 ⁻³ m ²	10 ⁻³ m ² ~ 10 ⁻² m ²	>10 ⁻² m ²	<10 ⁻³ m ²	10 ⁻³ m ² ~ 10 ⁻² m ²	>10 ⁻² m ²
预热温度 控制系数	1.04	1.0	0.96	0.95	0.93	0.92	0.94	0.93	0.9

D.2 焊接能耗检测信息

焊接加工能耗检测信息见表 D.5。

表 D.5 检测信息

方法及设备		焊接方法		焊接电源型号	
		焊接电源名称		焊接电源执行标准	
材料		母材型号		母材规格/mm	
		母材炉(批号)		母材执行标准	
		焊接材料型号(牌号)		焊接材料规格/mm	
		焊接材料批号		焊接材料执行标准	
工艺	烙铁钎焊	电流类型		烙铁温度/℃	
		焊接功率/kW		焊盘数量/个	
		烙铁倾斜角/(°)		单点焊接时间/s	
	波峰钎焊	锡炉温度/℃		预热温度/℃	
		运输速度/(m/min)		基板倾角/(°)	
		助焊剂流量/(mL/min)		氮气流量/(m ³ /h)	
	再流焊	预热温度/℃		回流温度/℃	
		升温速率/(℃/s)		回流时间/s	
		保温温度/℃		焊接速度/(mm/min)	
		加热因子/(s·℃)		待焊焊件面积/m ²	
	火焰钎焊	混合气体类型		氧气工作压力/kPa	
		焊片厚度/mm		乙炔工作压力/kPa	
		焊嘴孔径/mm		焊嘴倾斜角/(°)	
	浸渍钎焊	预热温度/℃		预热时间/s	
		钎焊温度/℃		待焊焊件面积/m ²	
	电阻钎焊	电源类型		初始电压/ms	
		焊片厚度/mm		焊接电流/A	
		电极材料		焊接时间/ms	
		电极直径/mm		冷却时间/ms	
		电极压力/kN		冷却方式	
		保持时间/s		待焊焊件面积/m ²	
	感应钎焊	焊片厚度/mm		焊接功率/kW	
		焊接频率/kHz		焊接时间/s	
		保温时间/s		待焊焊件面积/m ²	
	炉中钎焊	焊接材料规格/mm		焊接温度/℃	
		升温速率/(℃/min)		保温时间/min	
		冷却方式		待焊焊件面积/m ²	
焊接接头型式简图					

附 录 E
(资料性)

激光填丝焊接加工过程能耗计算示例

E.1 检测

E.1.1 检测对象

激光填丝焊接过程中需要测量和计算各组分气体累积量 ,功率参数包括空载功率和焊接功率。

E.1.2 检测周期

检测周期为激光发生器从开机到停机的所有运行过程。

E.1.3 检测条件及仪器

E.1.3.1 检测环境为常温常压。

E.1.3.2 检测仪器为集功率表、电能测试仪和秒表功能于一体的某功率分析仪器 ,其准确等级为0.1级。

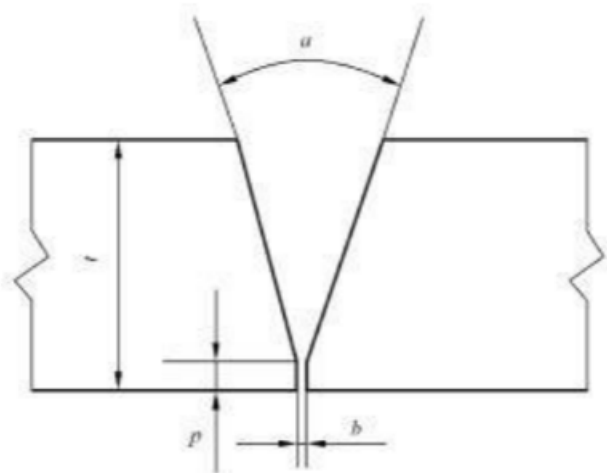
E.2 检测计算

E.2.1 焊接材料及试板种类

焊丝采用 GB/T 8110—2020规定的 G49A3C1S6实心焊丝 ,根据表 A.2 得出 $R_2=1.05$;焊接工件材料为 GB/T 1591—2018规定的 Q355B碳钢 ,根据表 A.4得出 $R_4=1.0$ 。

E.2.2 焊接接头型式和试板尺寸规格

焊接接头型式和试板尺寸规格如图 E.1 和表 E.1所示。采用横焊位置 ,根据表 A.1得出 $R_1=1.05$ 。



钢板厚度 t	坡口根部间隙 b	坡口钝边尺寸 p	坡口角度 α
15 mm	0 mm	2 mm	20°

图 E.1 焊接接头型式简图

表 E.1 焊接试板尺寸规格表

分类	试板厚度 t	试板宽度 W	试板长度 L
参数	15 mm	150 mm	3 500 mm

E.2.3 焊接工艺参数

用表 E.2 给出的焊接工艺参数进行焊接能耗检测 ,根据表 A.3得出 $R_3 = 0.92$ 。

表 E.2 焊接工艺参数

序号	分类	参数
1	激光束功率/kW	4.5
2	焊接速度/(mm/min)	600
3	摆动模式	圆形
4	激光枪倾斜角/(°)	10
5	离焦量/mm	20
6	送丝速度/(mm/min)	1 500
7	光丝间距/mm	2
8	保护气体类型	CO ₂
	保护气体流量/(L/min)	40
9	层间温度/°C	100~ 150

E.2.4 激光发生器功率

激光发生器功率包括空载功率和焊接功率 ,即冷却系统运转和焊接状态时的功率 ,如表 E.3所示。

表 E.3 激光发生器功率

序号	操作步骤	设备状态	功率/kW
1	开启冷却/待机系统	冷却系统运转	0.25
2	开启焊接系统	焊接状态	4.50

E.2.5 激光填丝焊接功率检测

记录激光填丝焊接全过程的设备输入功率 ,并计算所记录的设备输入功率的算术平均值 ,将其算术平均值记为焊接功率 ,如表 E.4所示。

表 E.4 焊接过程功率检测

记录项	焊接加工		
	焊道 1	焊道 2	焊道 3
激光功率/kW	4.5	4.5	4.5

E.2.6 激光填丝焊接能耗检测

记录激光填丝焊接全过程的设备输入能耗值,空载状态及焊接状态的能耗数据如表 E.5所示。

表 E.5 焊接能耗检测过程

序号	开始时刻能耗值/ kWh	结束时刻能耗值/ kWh	运行状态	时段	能耗值		备注
					kWh	kgce	
1	—	—	停机状态	—	—	—	开启功率分析仪
2	0.000	0.006	空载状态	空载时段 1	0.006	0.000 74	—
3	0.006	0.108	焊接状态	焊接时段 1	0.102	0.012 54	焊道 1
4	0.108	0.133	空载状态	空载时段 2	0.025	0.003 07	—
5	0.133	0.271	焊接状态	焊接时段 2	0.138	0.016 96	焊道 2
6	0.271	0.293	空载状态	空载时段 3	0.022	0.002 70	—
7	0.293	0.465	焊接状态	焊接时段 3	0.172	0.021 14	焊道 3
8	0.465	0.473	空载状态	空载时段 4	0.008	0.000 98	—
9	—	—	停机状态	—	—	—	完成焊接与检测

注：能耗数据换算根据 GB/T 2589—2020 中表 A.2 的规定,即电力(当量值)=0.122 9 kgce。

E.2.7 计算能耗数据

E.2.7.1 空载时段总能耗

根据表 E.5 中 4个空载状态的开始时刻能耗值和结束时刻能耗值,按公式(2)计算单个空运转时段能耗,再按照公式(1)计算空载时段总能耗。即表 E.5 中序号 2+序号 4+序号 6+序号 8=0.00749kgce。

E.2.7.2 焊接时段总能耗

根据表 E.5 中 3个焊接过程的开始时刻能耗值和结束时刻能耗值,按公式(4)计算单个焊接时段能耗,再按公式(3)计算焊接时段总能耗。即表 E.5 中序号 3+序号 5+序号 7=0.050 64kgce。

E.2.7.3 焊接加工过程总能耗

焊接加工过程能耗为空载时段总能耗与焊接时段总能耗之和,计算结果如表 E.6所示。

表 E.6 焊接过程总能耗计算结果

类别	空载时段总能耗	焊接时段总能耗	焊接加工过程总能耗
能耗值	0.00749kgce	0.050 64kgce	0.058 13 kgce

E.2.7.4 气体总能耗

激光填丝焊接过程中每道焊缝长 3 500 mm,焊接速度为 600 mm/min,共计需要 5.83 min,保护气体 CO₂ 流量为 40 L/min,消耗 CO₂ 共计 233.3 L,根据 GB/T 2589—2020 中表 B.1 的规定,即 1 m³ CO₂ 气体的折算煤系数为 0.2143 kgce。233.3 L CO₂ 气体的折算煤系数为 0.2333 m³ ×0.2143 kgce/m³ =

0.04999619kgce。

激光填丝焊接过程共消耗压缩空气 812 L,根据能耗数据换算根据 GB/T 2589—2020 中表 B.1 的规定,即 1 m³ 的压缩空气折算煤系数为 0.04 kgce;812 L 压缩空气的折算煤系数为 0.812 m³ × 0.04 kgce/m³=0.032 48 kgce。

每道焊缝消耗气体能耗为 0.049 96 19 kgce+0.032 48 kgce=0.082 476 19 kgce;3道焊缝共计消耗气体总能耗为 0.082 476 19 kgce×3=0.247 428 57 kgce。

E.2.7.5 焊接加工过程总能耗

焊接加工过程总能耗为焊接加工过程总能耗与气体总能耗之和,即 E_H = 0.058 13 kgce+ 0.247428 57kgce=0.305 558 57kgce。

E.2.7.6 合格焊件焊缝折合质量

合格焊件焊缝折合质量按公式(7)计算:

$$G_H = \sum_{j=1}^n G_{Hj} R_{1j} R_{2j} R_{3j} R_{4j} = G_{Hj} \times 1.05 \times 1.05 \times 0.92 \times 1.0 = 7.632 6 \times 10^{-3} t$$

其中,G_{Hj} = 7.525×10⁻³t,R₁ = 1.05、R₂ = 1.05、R₃ = 0.92、R₄ = 1.0。

E.2.7.7 单位合格焊件焊缝质量可比能耗

单位合格焊件焊缝质量可比能耗按公式(12)计算:

$$e_K = \frac{E_H}{G_H} = 0.305 558 57 \text{kgce} / 7.632 6 \times 10^{-3} t = 40.033 353 \text{kgce/t}$$

附录 F
(资料性)

感应钎焊加工过程能耗计算示例

F.1 检测

F.1.1 检测对象

感应钎焊焊接过程中需要测量功率参数包括空载功率、焊接功率。

F.1.2 检测周期

检测周期为感应焊机从开机到停机的所有运行过程。

F.1.3 检测条件及仪器

F.1.3.1 检测环境为常温常压。

F.1.3.2 检测仪器为集功率表、电能测试仪和秒表功能于一体的某功率分析仪器,其准确等级为0.1级。

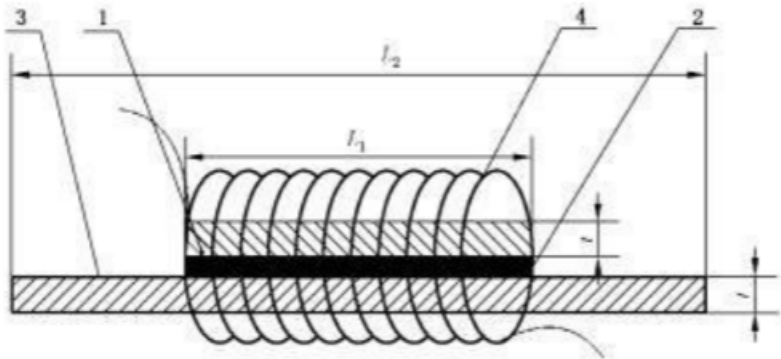
F.2 检测计算

F.2.1 焊接材料及试板种类

钎料采用 GB/T 10046—2018规定的 BAg45CuZn实心钎料,根据表 D.2得出 $R_2=1.05$,焊接工件采用 GB/T 1591—2018规定的 Q355B热轧钢,根据表 D.4得出 $R_4=1.0$ 。

F.2.2 焊接接头型式和试板尺寸规格

焊接接头型式和试板尺寸规格如图 F.1和表 F.1所示。接头型式为表面与表面钎缝(搭接),因此 $R_1=1.0$ 。



试板厚度 t	试板 1 长度 L ₁	试板 2 长度 L ₂
5 mm	50 mm	100 mm

标引序号说明：

- 1、3—焊件；
- 2 —钎料及钎剂；
- 4 —感应线圈。

图 F.1 焊接接头型式简图

表 F.1 焊接试板尺寸规格表

分类	试板厚度 t	试板宽度 W	试板长度 L ₁	试板长度 L ₂
参数	5 mm	20 mm	50 mm	100 mm

F.2.3 焊接工艺参数

用表 F.2 给出的焊接工艺参数进行焊接能耗检测 ,根据表 D.4得出 $R_9 = 1.04$ 。

表 F.2 焊接工艺参数

序号	分类	参数
1	焊片厚度/mm	1.0
2	焊接功率/kW	25
3	焊接频率/kHz	200
4	焊接时间/s	30
5	保温时间/s	60
6	待焊焊件面积/m ²	10 ⁻³
7	预热温度/℃	80~100

F.2.4 感应钎焊机功率检测

感应钎焊机功率包括空载功率、焊接功率 ,记录感应钎焊全过程的设备出入功率 ,并计算所记录的设备输入功率的算术平均值 ,检测功率如表 F.3所示。

表 F.3 感应钎焊机功率

序号	操作步骤	设备状态	功率/kW
1	开启水循环化/待机系统	冷却系统运转	1.2
2	开启焊接系统	焊接状态	25

F.2.5 感应钎焊能耗检测

记录感应钎焊全过程的设备输入能耗值 ,空载状态及焊接状态的能耗数据如表 F.4所示。

表 F.4 焊接能耗检测过程

序号	开始时刻 能耗值/ kWh	结束时刻 能耗值/ kWh	运行状态	时段	能耗值		备注
					kWh	kgce	
1	—	—	停机状态	—	—	—	开启功率分析仪
2	0	0.062 3	空载状态	空载时段 1	0.062 3	0.007 657	—
3	0.062 3	0.271 4	焊接状态	焊接时段	0.209 1	0.025 698	感应钎焊

表 F.4 焊接能耗检测过程 (续)

序号	开始时刻 能耗值 kWh	结束时刻 能耗值 kWh	运行状态	时段	能耗值		备注
					kWh	kgce	
4	0.271 4	0.359 2	保温状态	保温时段	0.0878	0.010 791	
5	0.359 2	0.4278	空载状态	空载时段 2	0.068 6	0.008431	—
6	—	—	停机状态	—	—	—	完成检测
注：能耗数据换算根据 GB/T 2589—2020 中表 A.2 的规定，即电力(当量值)=0.122 9 kgce。							

F.2.6 计算能耗数据

F.2.6.1 空载时段总能耗

根据表 F.4 中 2个空载状态的开始时刻能耗值和结束时刻能耗值 ,按公式(2)计算每个空载时段能耗 ,再按照公式(1)计算空载时段总能耗 。即表 F.4 中序号 2+序号 5=0.016088kgce。

F.2.6.2 焊接时段总能耗

根据表 F.4 中焊接过程的开始时刻能耗值和结束时刻能耗值 ,按公式(4)计算焊接时段能耗 。再按照公式(3)计算焊接时段总能耗 。即表 F.4 中序号 3+序号 4=0.036489kgce。

F.2.6.3 焊接加工过程总能耗

焊接加工过程能耗为空载时段总能耗、焊接时段总能耗之和 ,计算结果如表 F.5所示。

表 F.5 焊接加工过程能耗计算结果

类别	空载时段总能耗	焊接时段总能耗	焊接加工过程总能耗
能耗值	0.016088kgce	0.036489kgce	0.052 577kgce

F.2.6.4 合格焊件焊缝折合面积

合格焊件焊缝折合面积按公式(11)计算：

$$G_K = \sum_{j=1}^n G_{Kj} R_{1j} R_{2j} R_{4j} R_{9j} = 1.0 \times 10^{-3} \times 1 \times 1.05 \times 1.04 \times 1.0 = 1.092 \times 10^{-3} m^2$$

式中 $G_{Kj} = 1.0 \times 10^{-3} m^2$, $R_1 = 1$ 、 $R_2 = 1.05$ 、 $R_4 = 1.0$ 、 $R_9 = 1.04$ 。

F.2.6.5 单位合格焊件焊缝面积可比能耗

单位合格焊件焊缝面积可比能耗按公式(16)计算：

$$e_K = \frac{E_H}{G_K} = 0.052 577 kgce / 1.092 \times 10^{-3} m^2 = 48.147435 897 kgce / m^2$$

参 考 文 献

- [1] GB/T 1591—2018 低合金高强度结构钢
 - [2] GB/T 8110—2020 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
 - [3] GB/T 10046—2018 银钎料
-