

电弧焊过程的环境负荷评价

卜智翔, 施雨湘, 望斌, 彭志方
(武汉大学 动力与机械学院 武汉 430072)

摘要: 将 LCA 环境评估方法引入电弧焊加工过程, 提出对焊接过程环境负荷评价的工艺参数为单位体积或质量的焊缝金属(焊接产品)所涉及的能源、资源和废弃物的物资量, 为定量化研究焊接环境负荷提供了一种新的方法。通过对 CO_2 气体保护焊环境负荷的评定, 表明废弃物因子项是焊接对环境影响的关键项, 该因子应为主要控制和改进因素。获得的 CO_2 气体保护焊的能源因子项与电炉炼钢工艺过程相关项有较好的相对可比性, 这也表明该评估模型是合理的, 并使得材料实现全寿命周期的定量评估成为可能。

关键词: 生命周期评价; 电弧焊; CO_2 气体保护焊; 环境负荷; 泛环境函数

中图分类号: TG 421 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)03-65-04



卜智翔

0 序 言

焊接是现代工业生产中广泛采用的材料加工方法, 因其独特的生产方式在原材料的制备、焊接加工生产、焊件成品的使用、废料处理与回收过程中都要耗费大量的资源和能源, 同时产生大量的废气、烟尘、固体废料等环境污染物。考虑到资源、能源的可持续利用, 以及污染物对从业人员的身体健康的危害, 焊接的环境问题已成为焊接及环境研究人员所研究的重要课题^[1-2]。而如何使焊接的环境负荷具体化、标准化、定量化, 是能否真正将环境意识引入到焊接工业的关键问题。LCA (life cycle assessment) 环境评定方法, 为解决焊接的环境负荷提供了一种可靠的科学评估方法。近年来国内外围绕 LCA 开展了大量工作, 多数集中在其原理性和概念性, 少数具体定量化研究则集中在钢铁行业领域^[3-5], 针对焊接的 LCA 环境负荷定量化研究报道国内外尚少见。作者将针对焊接过程的环境负荷评价提出理论评估模型, 并尝试对在焊接加工中应用最广、对环境的影响也较大的电弧焊过程的环境负荷进行评价, 以期建立焊接过程环境负荷的评价方法, 为进一步实现绿色焊接过程准备条件。

1 焊接过程的 LCA 分析

LCA 就是运用系统的观点^[6], 根据焊接产品的分析或评估目标(质量、经济性、环境特性等), 将产品寿命周期的各个阶段(设计开发、制造、包装、发运、安装、使用、维护、最终处理、回收再生)看成一个整体。并对产品寿命周期中的各个阶段进行详尽的分析或评估, 从而获得目标信息在产品寿命周期各个阶段中和总体的情况, 为产品性能以及环境影响的改进提供完整、正确的信息。显然, 要完成焊接产品寿命周期各个阶段的 LCA 分析, 有赖于大量相关试验数据及其数据库的建立和完善。但是考虑到焊接产品的一个共同特点是在一定工艺条件下获得具有一定使用性能的焊接接头, 因此特将焊接工艺过程获得的焊接产品定义为焊接接头。

根据 ISO 14000 标准体系^[7], 尝试对焊接过程实施环境负荷评价不仅仅包括焊接过程对环境产生的直接影响, 如烟尘、废气、废水等, 还包括各种能源和资源的消耗评估, 见图 1。关于产品的输出项, 在目前还不具备将焊接接头性能与环境影响评估综合考虑的条件下, 特将其定义为焊缝金属。

针对材料制造加工过程的环境负荷研究, 目前国内外通常采用的是泛环境函数法, 该方法不仅考虑污染物的直接危害, 还考虑资源消耗和能源消耗的间接危害。通过泛环境函数分析焊接生产过程得

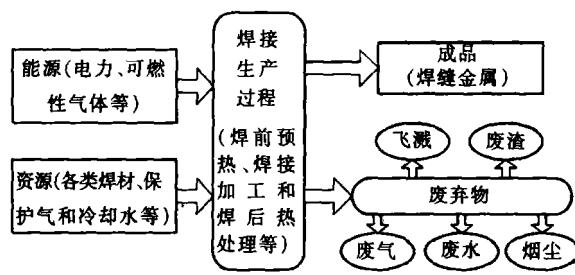


图 1 材料焊接过程的环境负荷模型

Fig 1 Environmental load model of material welding process

到的环境负荷值, 表示焊接过程中资源消耗、能源消耗、污染物排放对生态环境的干扰和危害的综合程度的度量。

泛环境函数定义

$$ELV = \phi(n) = f(R(n), E(n), P(n)), \quad (1)$$

式中: $\phi(n)$ 为泛环境函数, 其值为环境负荷 ELV , 它是材料焊接过程数目 n 的函数; R 为焊接过程的资源环境因子; E 为焊接过程的能源环境因子; P 为焊接过程的污染物环境因子; R, E, P 都是过程数目 n 的函数。对于焊接整个过程而言其环境负荷为

$$ELV = \int_0^n f(R, E, P) dn. \quad (2)$$

泛环境函数 $\phi(n)$ 通常采用加和模型, 即

$$ELV = a' \cdot R + b' \cdot E + c' \cdot P, \quad (3)$$

式中: a', b', c' 为加权系数。加和模型的物理意义是资源、能源、污染物三者对环境的影响相对独立, 分别作用于生态环境。因此对泛环境函数的贡献应分别叠加。

由于资源、能源、废弃物三个环境因子项的量纲不同, 为了各因子项能够统一在一个方程式中, 需要对三项做无量化处理。因此引入等效环境指数概念。

等效环境指数 (I_j) 定义为

$$I_j = \frac{C_{ij}}{S_{ij}}, \quad i=1, 2, 3, \dots, n; \quad j=1, 2, 3; \quad (4)$$

式中: I_j 代表材料的等效环境指数; C_{ij} 是第 j 个环境因子的第 i 项的实测数据, 其单位为每公斤产品的发生量; S_{ij} 是第 j 个环境因子的第 i 项的国际标准、国家标准或行业标准; i 是材料寿命周期中的过程数目; j 按 1, 2, 3 取值时分别表示资源、能源、污染物环境因子项。此时有

$$R(n) = \sum_{i=1}^m a_i I_{i1}, \quad (5)$$

$$E(n) = \sum_{i=1}^l b_i I_{i2}, \quad (6)$$

$$P(n) = \sum_{i=1}^k c_i I_{i3} \quad (7)$$

式中: m, l, k 分别表示所涉及的资源、能源和废弃物种类数; a_i, b_i, c_i 分别是资源、能源、废弃物各对应因子项的权重系数, 权重系数的数值越大, 则表明该因子项对环境的危害越大。

2 电弧焊过程的环境负荷分析

对电弧焊过程进行 LCA 评估时, 首先必须定义待研究的工艺参数单位, 精确地定义如前所述应该是产生单位体积的焊缝金属所涉及的物资量, 单位为 g/m^3 。考虑到确定焊缝金属的体积比较困难, 也可以采用单位质量的焊缝金属所涉及的物资量, 单位为 g/kg 或 kg/t 焊缝金属的质量, 有时可以近似采用熔敷金属质量。

第二步是详细调查材料焊接的工艺过程并进行清单分析。可以分为以下三类逐一分析。

(1) 资源项。电弧焊时采用的所有焊接材料、辅助材料及熔化的母材等均可归入资源项, 如各类焊条或焊丝、焊剂、冷却水以及保护气体等。由于不能直接采用资源当量^[8] 计算方法, 可以考虑先转化成资源价格当量, 单位为 kg 万元, 再转化成资源当量。

(2) 能源项。电弧焊过程主要消耗的是电能, 考虑到焊接时可能的预热或焊后热处理等, 采用其它能源如乙炔、煤气等可燃性气体, 就必需归入能源项中。各类能源量应该转化成标准煤量, 其热值定义为 $2.93 \times 10^7 J/kg$ 。

(3) 废弃物项。主要为有害气体 (CO, NO, O_3)、焊接烟尘、一般固体废弃物 (废渣和飞溅) 和废水等。推荐采用中国工业排放标准作参照, 将废气的各影响因子以电焊烟尘为参照物计算当量值, 各类气体的容许浓度标准见表 1; 将废水的各影响因子按 Cr^{+6} ($0.5 mg/L$, 标准编号 GB J4-73) 为参照物计算当量值; 一般固体废弃物的毒理性质没有明显的区别, 可以认为其当量系数为 1。

在电弧焊过程中, 材料、工艺和设备等因素的变

表 1 空气中有害物质容许浓度
Table 1 Acceptable concentration of toxicant in air

名称	最高容许浓度 $C (mg \cdot m^{-3})$	标准编号
电焊烟尘	6	GB 16194-1996
臭氧	0.3	TJ 36-79
一氧化碳	30	TJ 36-79
氧化氮	5 (换算成 NO_2)	TJ 36-79

化对废弃物的产生量有很大的影响,这些变化也会反映在资源项和能源项中,如焊丝直径、气体流量、焊机功率因素等。利用泛函数分析方法计算电弧焊的环境负荷值的过程参见图2。下面以CO₂气体保护焊为例进行环境负荷分析。

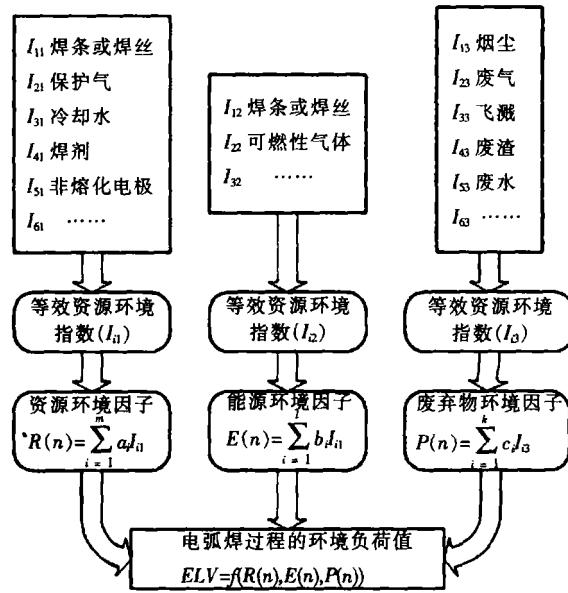


图2 电弧焊过程的环境负荷模型

Fig 2 Environmental load model of arc welding process

3 CO₂气保焊过程的环境负荷分析

表2^[9]中列出了5种不同工艺参数下的CO₂气体保护焊的有害气体及烟尘排放量^[9,10],焊接母材为Q235母材尺寸14 mm×100 mm×500 mm,焊丝为H08Mn2SiA,CO₂焊机功率因数为0.8,保护气成分为CO₂,气体流量20 L/min,冷却水流量5 L/min。

根据清单所列的各项,通过已知数据的计算得到各项的量值,列入表3中。对于废弃物因子的计算,由于废气、烟尘、飞溅和废水对于环境的影响相差很大,因此当量系数值得慎重考虑,由于水是冷却水,对电弧焊过程而言并不对环境构成污染,可以不考虑,即水的当量系数为零;若以对人体的危害程度考量,烟尘和废气比飞溅的危害要大得多,因此在考虑权重系数时烟尘和废气的权重系数推荐使用100,在固体废弃物中,飞溅的权重系数为1;公式(3)中的加权系数,在未评估之前通常用a'=1,b'=1,c'=1。

最后得到的CO₂气体保护焊的环境负荷值见图3。在不同工艺条件下对应的资源因子R、能源因子E和废弃物因子P评估值的最大相对偏差分别为6.4%、14.9%和30.6%,可以看出废弃物因

表2 CO₂气体保护焊的有害气体及烟尘排放量^①Table 2 Poisonous gas and fume's emissions of CO₂ gas shielded arc welding

工 艺 序 号	焊接条件			单位质量焊丝产生的有害气体量/(g·kg ⁻¹)			单位质量 焊丝产生 的烟尘量 (g·kg ⁻¹)	每分钟 发尘量 (g·min ⁻¹)	熔化1kg 飞溅率 (%)	焊丝所需 时间 t/s	获得1kg焊 缝熔敷金属所 需时间 t/s
	焊丝直径 d/mm	电流 I/A	电压 U/V	CO	NO ₂	O ₃					
P ₁	1.0	190	22	3.85	0.056	0.006	4.62	0.23	5	1205	1280
P ₂	1.2	190	22	4.19	0.180	0.016	7.00	0.35	6	1200	1292
P ₃	1.2	315	29	2.00	0.173	0.012	9.30	0.84	8	664	731
P ₄	2.0	315	29	2.55	0.070	—	11.40	0.92	15	743	889
P ₅	2.0	415	34	1.41	0.090	—	13.50	1.62	6	500	541

注:①焊接电流和电压取平均值

表3 CO₂气体保护焊每吨焊缝熔敷金属所涉及的物资量(单位:kg)Table 3 Each ton of deposited metal involved in material quantities of CO₂ gas shielded arc welding

工 艺 序 号	焊丝	保护气	冷却水	标准煤	烟尘量	废气排放量			飞溅量
						CO	NO ₂	O ₃	
P ₁	1 062.2	838.0	106 660	228.2	4.91	4.09	0.060	0.0064	53.11
P ₂	1 076.9	846.1	107 687	230.4	7.54	4.51	0.194	0.0172	64.61
P ₃	1 100.7	478.5	60 905	284.8	10.23	2.20	0.190	0.0132	88.06
P ₄	1 196.2	581.9	74 065	346.4	13.63	3.05	0.084	—	179.43
P ₅	1 081.1	353.9	45 045	325.4	14.59	1.52	0.097	—	64.86

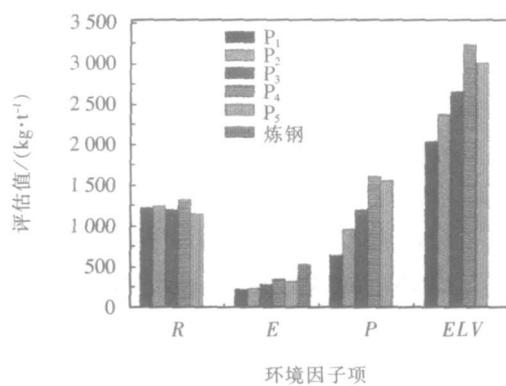


图 3 CO₂ 气体保护焊环境因子的评估值

Fig. 3 Environmental genes' values of CO₂ gas shielded arc welding

子 P 是焊接对环境影响的关键, 该因子应该是主要的控制和改进因素。如果从生产每吨焊缝熔敷金属输入的总能源来看, 能源因子 E 的大小排序与废弃物因子 P 的大小排序一致, 这意味着能源消耗越大, 污染物的排放也越多, 环境负荷值也越大。

焊接熔池历来有小型炼钢炉之称, CO₂ 气体保护焊这几种不同工艺的能源因子在 228.2 ~ 346.4 kg/t 之间, 而电炉炼钢工艺中炼钢将消耗 16.489 GJ/t 的能量^[8], 转化为标准煤大约为 526.76 kg/t。这意味着由于焊接电弧具有高的能量密度, 产出每吨成品比炼钢要节能。更为重要的是经过对焊接过程的环境负荷评估, 将使得对材料冶炼、制备、加工的环境评估等作出统一、定量的系统评估成为可能, 这也表明本评估模型是合理的。

4 结 论

(1) 将 LCA 环境评估方法引入电弧焊加工过程, 提出焊接产品为单位焊缝金属(体积或质量)所涉及的能源、资源和废弃物的物资量, 为定量化研究焊接环境负荷评价提供了一种新的方法。

(2) 在 CO₂ 气体保护焊不同工艺条件下, 对应

的资源因子 R 、能源因子 E 和废弃物因子 P 评估值的最大相对偏差分别为 6.4%、14.9% 和 30.6%, 可以看出废弃物因子 P 是焊接对环境影响的关键项, 该因子应该为主要控制和改进因素。

(3) 通过将 CO₂ 气体保护焊的能源因子项与电炉炼钢工艺过程进行比较, 可以认为该评估模型合理, 具有可比性。

参考文献:

- [1] Peter J. Hewitt. Strategies for risk assessment and control in welding challenges for developing countries [J]. British Occupational Hygiene Society, 2001, 45(4): 295 ~ 298.
- [2] Dandadevi K. Roya Rozati Reddy P. P. Serum quality of Indian welders occupationally exposed to nickel and chromium [J]. Productive Toxicology, 2003, 17(4): 451 ~ 456.
- [3] 蔡九菊, 杜涛, 陆钟武, 等. 钢铁生产流程环境负荷评价体系的研究方法 [J]. 钢铁, 2002, 37(8): 66 ~ 70.
- [4] 刘江龙, 陈红兵, 李晖, 等. 常用钢的环境影响定量评价研究 [J]. 钢铁, 2002, 37(4): 63 ~ 65.
- [5] Jutta Gekleemann, Thomas Spengler, Otto Rentz. Fuzzy outranking for environmental assessment: Case study iron and steel making industry [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115(1): 45 ~ 65.
- [6] Adisa Azapagic. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation [J]. Chemical Engineering Journal, 1999, 73(1): 1 ~ 21.
- [7] Anne Marie Tilmann. Significance of decisionmaking for LCA methodology [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000, 20(1): 113 ~ 123.
- [8] 周和敏, 高怀, 李贵奇. 钢铁生产环境负荷的累积对比分析评价 [J]. 钢铁, 2002, 37(2): 64 ~ 69.
- [9] 中国机械工程学会焊接学会第 VIII 专业委员会. 焊接卫生与安全 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 61 ~ 63.
- [10] 傅积和, 孙玉林. 焊接数据资料手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.

作者简介: 卜智翔, 男, 1975 年 8 月出生, 博士研究生。研究方向为焊接气溶胶扩散的数值模拟以及焊接与环境。发表论文 1 篇。

E-mail: bzxw@ sina.com.cn

DA converter and the output parameters of welding can be easily controlled with high precision. At the same time, the welding device has lower complexity. Moreover, the welding parameters can be regulated contemporary and output current of variable polarity pulsed welding can be exactly controlled.

Key words digital signal processing variable polarity pulsed metal inert gas

Identification of aluminum alloy pulsed metal inert gas welding dynamic process SHI Yu, HUANG An, FAN Ding, LIANG Wei dong (State Key Lab of Gansu New Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p57-60

Abstract Based on the step response experiment, the welding pool width model of dynamic process in aluminum alloy pulsed metal inert gas welding was identified by least square method. The input of the model was welding wire speed and base current respectively, and the output was beam width of welding pool. The influence of wire speed and base current on welding pool width was analyzed. It provides the theoretical basis to realize the intelligent control for aluminum alloy pulsed metal inert gas welding process.

Key words aluminum alloy pulsed metal inert gas welding identification

Metallic ceramic arc spraying cored wires for surface modification of crankshaft GUO Mian hua, LIU Aiguo, ZHAO Minhai, QU Jun zheng (1. National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p61-64

Abstract Cored wires with Al_2O_3 and $\text{NiCrCr}_2\text{C}_2$ as filler materials for surface modification of crankshaft were produced. Microstructures, bonding strength and wear resistance of coatings produced with these two cored wires were tested. The results showed that with Al_2O_3 as filler material of the cored wire, content of ceramic phase in the coating was high and the coating was fairly bonded to the substrate. Adhesive strength was as high as 21.23 MPa and the shear strength of the coating was 31.27 MPa. Resistance to wear of the coating was good. With same wear conditions, the wear loss of mass was only one fourth of that of the cast iron sample. Addition of Ni_3Al and graphite was the most important reason for high adhesive strength.

Key words cored wire; crankshaft; thermal spray; metallic ceramic

Environmental load assessment of arc welding process BU Zhi xiang, SHI Yu xiang, WANG Bin, PENG Zhi fang (College of Power & Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China). p65-68

Abstract By introducing LCA (life cycle assessment) environmental assessment method to an welding process, it is presented that the involved material quantity of power resource and waste per unit volume of mass of welding deposited metal (welding product) can be defined as a technical parameter for environmental load assessment of welding process which provides a new method to quantitatively investigate environmental load of welding. The results from the environmental load assessment of CO_2 gas shielded arc welding indicate that waste is the key factor which should be controlled and improved to affect the product making environment. The assessment model has been proved reasonable from the fact that power factorial item of CO_2 gas shielded arc welding shows good comparability with correlative item of steel-making process in electric oven which makes it possible to quantitatively assess the whole life cycle of materials.

Key words life cycle assessment arc welding CO_2 gas shielded arc welding environmental load panenvironment function

Solidification characteristics and mechanism of feeding surface metallurgical coating by DC plasma jet LI M in¹, LI Hui dong¹, LI Hui q¹, PEI Zhong a², SUN Yu zong² (1. Institute of Material, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. Institute of Material, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong, China). p69-72

Abstract The ferroalloy coatings with powder mixtures of different constituent, different size, different density and different shape were prepared on Q235 steel using the feeding surface metallurgical technology by DC Plasma Jet. The composition, microstructure of alloying coating and microstructure transformation of heat affected zone were investigated using optical microscope, scanning electron microscope, electron microscope analysis and X-ray diffraction. Results indicated that plasma surface metallurgical coating of Fe-Cr-Ni-B-Si had well wettability and metallurgical bonding was obtained between coating and substrate. The rapid solidifying structure of coating was lamellar from epitaxial planar crystal on the bottom to equiaxed crystal in the middle to bimodal crystal on the top. The matrix of surface coating was malleable γ (Fe-Ni) dendritic crystal which was supersaturated solid solution of many Cr and small Ni, B, Si, C elements. And eutectic structure of $(\text{Cr-Fe})_7(\text{C-B})_3$ and γ (Fe-Ni) dispersed on interendrite. Due to heat cycle influenced by plasma beam, the heat affected zone had two layers phase transformation zone and recrystallization zone.

Key words plasma surface metallurgy; solidification characteristics; ferroalloy powder

A simple method to locate initial welding position of planar weld using visual technology CHEN Xi Zhang¹, CHEN Shan ben², LIN