

混合式弧焊机器人编程语言

张连新¹, 高洪明¹, 张广军¹, 吴 林¹, 胡增臣²

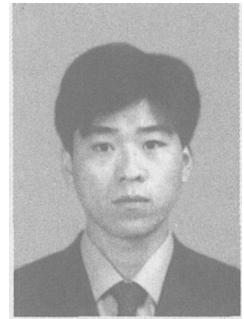
(1. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001;

2. 长春客车厂工业公司 铁路客车配件厂, 长春 130113)

摘 要: 在对机器人语言的特点和系统构成分析的基础上, 开发了混合式弧焊机器人语言。该语言除了具有一般程序设计语言所必需的顺序、分支、循环和子程序以外, 还具有弧焊机器人所必需的机器人运动控制和焊接等相关功能。为了实现这些功能, 设计了 HAWRL 的数据表示方法、指令集和变量, 提出了数据和程序分离的程序结构形式。从而使得 HAWRL 兼有机器人级机器人语言简单易用以及任务级机器人语言编程效率高的优点。试验表明, 应用 HAWRL 可以高效、快速、容易地生成机器人程序并被正确地执行; 同时, 它也提供了机器人和外部设备的统一接口。

关键词: 机器人语言; 机器人编程; 弧焊机器人

中图分类号: TG 409 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)07-105-05



张连新

0 序 言

传统的示教再现型的弧焊机器人系统已经远远的不能满足现代的焊接作业对于高效率、高精度、小批量、复杂形状以及遥控焊接作业的要求。为此, 现代焊接生产技术国家重点实验室开发了开放式弧焊机器人控制系统 OAAWRCS (open architecture arc welding robot control system)。要使得 OAAWRCS 能够方便地集成各种其它设备以及系统^[1], 如焊缝视觉跟踪系统等, OAAWRCS 就必须要为它们提供良好的接口形式。机器人语言提供了一种通用方式来解决机器人与外部设备的通讯问题, 同时, 机器人语言也是机器人系统先进水平的重要标志之一^[2]。

从机器人语言发展的历史来看, 机器人语言从比较低级的动作级语言逐渐发展到比较高级的任务级语言^[3]。动作级语言语句比较简单, 易于编程; 但是其缺点也比较明显, 即不能进行复杂的数学运算, 编程效率低, 不能接收复杂的传感器信息。尽管如此, 由于其简单实用, 动作级语言仍然得到了广泛的应用。现在的大多数机器人语言都属于这一类, 如 BM 公司为其机器人产品开发的商品化机器人语言 AML。任务级语言没有明确的规定机器人的动作, 但机器人可以自动进行推理、计算, 最后生成机器人的动作序列。这类语言为数不多, 主要有 BM 公司开发的 AUTOPASS。这类语言的功能也远没有真正的达到人们的期望。但是, 它确实是一个非常具有

实用意义的发展方向^[4~7]。

基于以上分析, 综合动作级机器人语言和任务级机器人语言的优点, 作者拟介绍该实验室开发的混合式弧焊机器人编程语言 HAWRL (hybrid arc welding robot language)。HAWRL 不仅包含了动作级的指令和简单的任务级指令, 同时具有一些运算功能, 故称为混合式弧焊机器人编程语言。运用 HAWRL, 不仅可以实现机器人作业程序的手动编写, 同时实现了离线编程系统、遥操作系统以及示教编程器与 OAAWRCS 的通用接口。

1 机器人语言的特点及组成

1.1 机器人语言的特点

机器人语言被定义为能够控制机器人硬件并能够调用其它控制软件功能模块的计算机程序设计语言。由于机器人语言是一种程序设计语言, 它应该包括普通程序设计语言的各种成分 (控制结构、子程序、必要的数据类型及运算), 又因为它是机器人语言, 故它必须包含用于描述和控制机器人系统的指令或功能, 主要包括^[6]: (1) 机器人的控制涉及大量的机器人运动学和控制算法, 在机器人语言中必须包括专门的指令进行处理, 使用户能够摆脱繁琐算法的约束, 能在更高层次上操作机器人。(2) 机器人操作的对象位于三维空间中, 在机器人语言中应该提供对三维物体的描述方法。(3) 机器人在一个复杂的空间环境中工作, 必须使用传感器获取相关

的信息,在机器人语言中必须包括相应的处理指令。
(4) 机器人都是用于特定的任务(装配、焊接和喷漆等),在机器人语言中必须包含执行相关任务的指令。

1.2 机器人语言的组成

根据机器人语言的类别不同,其组成也不同^[6]。对于动作级机器人语言,主要包括:(1) 位置说明。使用提供的数据结构定义物体的位置和特征。对于焊接作业,机器人末端焊枪以及工件的位置和姿态可以用 4×4 的矩阵进行表示。(2) 运动说明。通常用一系列机器人要达到的目标位置来说明,不仅需要说明初始状态和终止状态,为了避免碰撞,还应该说明路径上足够的中间点。此外,还需要说明运动的速度等。(3) 传感和控制流程。焊接过程中存在着焊接变形,同时又要保证焊接的质量,通常要使用焊缝跟踪系统和熔透控制系统等。故程序中要包含相应的传感信息处理。此外,机器人程序的流程通常由传感器信息控制,多数语言都提供了判定结构,如 do-while。(4) 程序设计支持。提供必要的程序开发和调试功能,主要包括再线修改、跟踪传感输出和仿真。

对于任务级机器人语言,允许用户使用高级语言描述任务(任务说明),系统的任务规划程序通过查询数据库(环境模型),将任务说明转换为机器人语言程序(程序合成),然后执行之。主要包括:(1) 环境模型。用于描述物体(包括机器人)的几何和物理特性,以及工作空间中物体的状态。(2) 任务说明。任务被描述成工作空间中物体状态的序列,物体状态可以用物体之间的空间关系表示,通常用定义了语法和语义的高级语言来描述。(3) 程序合成。首先将任务说明转换为可用的形式,得到一个由物体状态组成的集合,再根据物体的几何和物理特性,规划机器人的运动,从而产生动作级程序。

目前任务级机器人语言还远没有达到实用的程度。但是动作级语言的编程效率比较低。因此,文中综合以上两种语言的优点,开发一种既具有相对较高效率又可以实用的语言 HAWRL,它由以下几个部分组成:(1) 位置说明。通过定义的专用的数据结构指定机器人、工件以及障碍物的位置和姿态。(2) 任务说明。用来说明机器人要执行的任务,不是简单的运动序列的指定,也不是“焊接工件上的所有焊缝”这样高级的任务序列,而是分解机器人需要完成的任务指定其各个相对简单的任务阶段。如“先移动到焊缝起始点,然后以指定的速度焊接直线焊缝,最后焊接一段圆弧,之后回到机器人零位”。(3) 数学运算及程序控制流程。用来进行简单的计

算和控制流程的控制。(4) 传感信息处理。用于控制传感信息的接收与否及相关处理。关于程序的输出、调试以及仿真等由程序的编译解释系统提供。

2 HAWRL 的开发

对于六自由度四连杆机构弧焊机器人来说,一般采用 D-H 模型进行描述,因此,表达机器人的位置和姿态一般都采用六个关节的关节角或者 4×4 的矩阵。对于焊接工件来说,一般采用 4×4 的矩阵描述它的位置和姿态。在 HAWRL 中,为了描述机器人以及工件的位置,用六个连续的浮点数中间以“/”作为分割来表示一组关节角,如 0 0 /18 0 /20 5 /30 5 /40 0 /50 0 用 12 个连续浮点数中间以“/”作为分割来表示一个位姿,因为表示机器人位姿的 4×4 矩阵的最后一行分别为 0 0 0 1,如 1.0 0 0 /0 0 /0 0 /0 0 /1 0 0 0 /800.0 0 0 /0 0 /1 0 /400 0 通过这两种方式,就可以表达机器人工作空间中物体的三维信息了,从而实现各个物体的位置说明。

2.1 HAWRL 指令集及其说明

根据程序设计和焊接机器人的实际需要,设计了 HAWRL 指令集,包括运动控制指令、弧焊指令、程序控制指令、数学运算指令以及传感信息处理指令,如表 1 所示。通过这些指令,就可以实现焊接任务说明、程序流程控制和传感信息处理了。

对于机器人进行弧焊作业时,一般只要能够完成 PTP 和 CP 两种轨迹运动就可以了。对于 PTP 方式,机器人用来完成不关心运动路径情况下的快速运动,如回零位和快速运动到焊接起始点等;对于 CP 方式,通过直线和圆弧两种轨迹基本上可以拟合出任意复杂形状的焊缝,从而完成焊接任务。对于三个运动控制指令 MOV J MOV L MOV C 就是用来控制机器人来完成上述三种运动形式的。其指令格式完全一样,以 MOV L 为例

MOV L VL = 操作数。

表示弧焊机器人从前一点移动到当前点的移动方式为直线移动,速度由操作数指定。

弧焊指令有 6 条,分别是 ARCON、ARCOFF、WVON、WVOFF、WELDA、WELDV。前面的四个指令用来控制电弧的状态,指令格式相同,在程序中需要改变电弧状态的地方直接插入即可,不包含任何参数。后面的两个用来设置焊接电流和焊接电压,指令格式为

WELDV = 操作数。

表示设置焊接电压的大小为操作数。

表 1 HAWRL指令集(OP表示操作数)

Table 1 HAWRL(hybrid arc welding robot language) commands set(OP represents operand)		
指令分类	指令	指令说明
运动控制指令	MOV J V J = OP	按设定的速度以 PTP方式运动到目标位置
	MOV L V L = OP	按设定的速度以直线插补方式运动到目标位置
	MOV C V C = OP	按设定的速度以圆弧插补方式运动到目标位置
弧焊指令	ARCON, ARCOFF	用于控制启弧、熄弧
	WVON, WVOFF	用于控制电弧摆动开始与结束
	WELDA= OP, WELDV= OP	用于设定焊接电流和焊接电压
数学运算指令	ADD, SUB, MUL, DIV	依次表示加、减、乘、除运算
	AND, OR, XOR	依次表示按位与、按位或、按位异或操作
	SIN, COS, ATAN	依次表示正弦、余弦和反正切运算
	SQRT, SET, MOD	依次表示平方根、赋值和取模操作
程序控制指令	TABLE	在程序中可以定义标号, 用于表示跳转的位置
	JUMP, PAUSE, DELAY	依次表示跳转到标号的位置、停止和延时
	IF - ELSE - END IF	分别表示条件选择和循环操作
	WHILE - ENDWHILE	
	SUB - RET, GOSUB	分别用于定义子程序和跳转到子程序
传感信息处理指令	SRARTR, ENDR, STARTD, ENDD	用于表示程序的开始、结束以及数据的开始和结束
	TRACKON, TRACKOFF	用于控制焊缝跟踪传感系统的启动与关闭
	PNTRTON, PNTRTOFF	用于控制熔透传感系统的启动与关闭

运算指令共有 13 条, SET、ADD、SUB、MUL、DIV、AND、OR、XOR、MOD、SIN、COS、ATAN、SQRT。这些指令用来在程序中进行一些数学运算。它们的指令格式相同, 如

ADD 操作数 1; 操作数 2

表示把操作数 2 的值和操作数 1 进行运算之后将运算结果保存在操作数 1 中。其中的操作数 1 必须是变量, 操作数 2 可以是变量、整型数或实数。

程序控制指令有 10 条, 分别是 LABEL、JUMP、PAUSE、DELAY、IF - ELSE - END IF、SUB - RET、GOSUB、WHILE - ENDWHILE、SRARTR - ENDR、STARTD - END D。LABEL 指令的使用格式是“标号:”, 标号必须是标识符, 必须以字母开头。标号用来表示跳转的行号标志。

其它的程序流程控制命令与普通的程序设计语言中的对应指令使用格式基本一致, 在此不再详细叙述。

对于传感信息处理指令包括 TRACKON、TRACKOFF、PNTRTON、PNTRTOFF 用于控制焊缝跟踪和熔透控制传感系统的传感信息是否作用于弧焊机器人的焊接过程。其指令格式与 ARCON 相同, 只需把它插入到程序中需启动或关闭传感系统的位置即可。

2.2 HAWRL的变量

计算机高级语言程序一般由语句构成, 而语句

中会有变量。在这样的通用计算机程序设计语言中, 变量可以由用户根据需要进行定义, 尤其像 C 语言, 变量在使用之前一定要先定义。这样保证了用户对变量使用的灵活性。在 HAWRL 中也要提供一些变量供用户使用, 但涉及的变量不会很多。为了方便编译模块的开发, 故在 HAWRL 中事先定义了变量 P1—P200 和 Q1—Q200。这些变量没有类型的规定, 既可以做整型也可以做浮点、双精度等类型来使用。当需要使用变量时, 可以从上述的 400 个变量中随便选择一个。

2.3 HAWRL的程序结构

为了使程序的层次更加清晰, 规定程序的语句和对应的数据分开来保存。程序文件和数据文件保存为同名的文件, xxx_rlp 和 xxx_rld。前者表示程序文件, 后者表示与同名的程序文件对应的数据文件。程序文件由 STARTP 开始, ENDP 结束。数据文件由 STARTD 开始, ENDD 结束, 例如

```
/Moveprogram_rlp
STARTP           /标识程序的开始
程序体
ENDP             /标识程序的结束
//Moveprogram_rld
STARTD           /标识程序数据的开始
对应于程序的所有数据
ENDD             /标识程序数据的结束。
```

3 HAWRL编程实例

HAWRL程序的整个执行过程如图 1 所示。首先生成 HAWRL源程序,主要由以下四种途径:(1)由离线编程系统采用离线示教或离线编程的方式生成;(2)由遥操作系统通过遥示教生成;(3)通过示教编程器进行现场示教的方式生成;(4)通过手动的方式直接用 HAWRL进行编写。当通过以上的方式得到了 HAWRL源程序以后,把源程序提交给编译解释器。编译解释器首先对源程序进行词法分析、语法分析和语义分析,检查错误,然后将正确的源程序编译解释生成 PMAC 编程语言的目标代码并下载到 PMAC 中进行执行。关于程序的编译解释器在此不再赘述,另有论文将详细说明其工作原理以及开发过程。

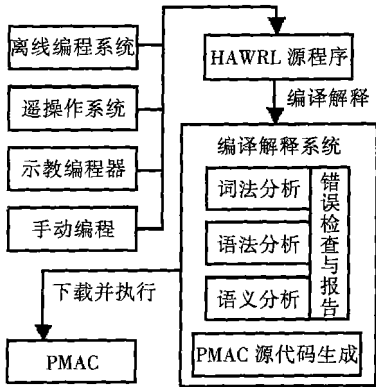


图 1 HAWRL程序执行过程图

Fig 1 Flow chart of executing HAWRL programs

下面给出一个 HAWRL源程序的例子 Example.rlp用来焊接如图 2 所示形状的焊缝。

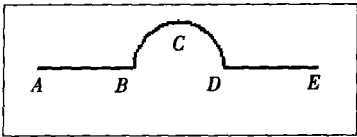


图 2 焊缝形状图

Fig. 2 Diagram of weld shape

```
/* * * * * * Example.rlp * * * * * */
STARTP           /程序开始
MOVJVJ=100       /PTP方式运动到焊接起始点
ARCON            /启弧
F P10=1          /如果成功启弧(P10是标志)
```

```
MOVL VL = 50     /焊接一段直线焊缝
MOVC VC = 30
MOVC VC = 30     /焊接一段圆弧
MOVL VL = 50     /焊接一段直线焊缝
ARCOFF           /熄弧
MOVJVJ=100       /焊接完成,机器人回零位
ELSE             /如果启弧失败
PAUSE            /停止
ENDIF
ENDP             /程序结束
/* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * */
```

下面是对应于 Example.rlp的数据文件

```
/* * * * * * Example.rlp * * * * * */
STARTD           /程序数据开始
28. 304711 0. 000000 0. 000000 0. 000550 /-0. 000554 0. 00003
/机器人处于图 2 中 A 点时机器人的各个关节角的值
11. 735848 9. 79 0. 000550 /-0. 588879 16. 552319 18. 348302
/机器人处于图 2 中 B 点时机器人的各个关节角的值
1. 315833 6. 459815 6. 196968 0. 001099 / -0. 263199 26. 934312
/机器人处于图 2 中 C 点时机器人的各个关节角的值
-11. 334408 6. 187479 /-5. 94858 0. 000002 /-0. 238317 /-12. 04366
/机器人处于图 2 中 D 点时机器人的各个关节角的值
-23. 393925 0. 000000 0. 000001 0. 000550 / -0. 000001 0. 000882
/机器人处于图 2 中 E 点时机器人的各个关节角的值
0. 000034 0. 000000 0. 000000 0. 000050 / -0. 000054 0. 00003
/机器人零位
ENDD             /程序结束
/* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * */
```

上面的程序源文件和与之对应的数据文件经过编译解释器的处理,生成的 PMAC 目标代码如下。

```
/* * * * * * Program 100 * * * * * */
OPEN PROG 100   程序开始
CLEAR
CALL 13          /PTP子程序,到达 A 点
P11=1           /启弧
IF(P10=1)        /如果启弧成功
CALL 130         /直线插补子程序,到达 B 点
CALL 90          /圆弧插补子程序,到达 D 点
CALL 130         /直线插补子程序,到达 E 点
P11=0           /熄弧
CALL 200         /回零位子程序,机器人回零位
ELSE
P12=1           /机器人停止
ENDIF
CLOSE           /程序结束
/* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * */
```

命有较大的实际意义, 并且对生产过程具有指导意义。

参考文献:

[1] 魏洪涛. 镀锌钢板点焊研究进展[J]. 上海金属, 1994, 16(2): 25-31

[2] Holliday R, Parker J D, Williams N T. Relative contribution of electrode tip growth mechanisms in spot welding zinc coated steels[J]. Welding in the World, 1994, 37(4): 186-193.

[3] Parisot R, Forest S, Gourgues A E *et al*. Modeling the mechanical behavior of a multicrystalline zinc coating on a hot dip galvanized steel sheet[J]. Computational Material Science, 2000, 19(12):

189-204.

[4] 王 敏, 唐逸民. 镀锌钢板点焊的工艺性能[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(2): 156-158

[5] 王 敏. 镀锌钢板点焊工艺研究[J]. 汽车工艺及材料, 1999(5): 4-8

[6] 吴志生, 单 平, 廉金瑞, 等. 深冷处理提高镀锌钢板点焊电极寿命的机理[J]. 焊接学报, 2003, 24(2): 7-10.

[7] 吴志生, 廉金瑞, 胡绳荪, 等. 离子注入钨的镀锌钢板点焊电极寿命试验研究[J]. 汽车技术, 2003(2): 35-37.

作者简介: 王 璐, 女, 1982年 6月出生, 硕士研究生。主要研究方向为电阻焊工艺及有限元分析。

Email vicky@sjtu.edu.cn

[上接第 108页]

把经过编译解释生成的 PMAC程序下载到 PMAC中并执行, 机器人就可以完成如图 2所示焊接任务了。图 3 为应用机器人示教编程器编辑生成的 Example.rlp和Example.rld执行的结果。当然对于通过离线编程系统和遥操作系统都可以得到同样的结果。

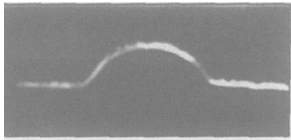


图 3 HAWRL程序焊接试件

Fig. 3 Welding test specimen of HAWRL program

通过上面的程序可以看出, 指令非常简单, 易于编程, 易于学习, 具有动作级语言的特点。但是可以通过简单指令容易的指定机器人的焊接任务, 如仅需要说明运动的速度和插补方式就可以了, 复杂的插补算法和路径规划都不需要编程过程来考虑, 大大地提高了编程的效率和简化了任务的说明过程。因此, HAWRL很好地结合了动作级语言和任务级语言的优点, 完全满足了弧焊的编程需要, 同时也为其它的外部设备提供了统一的接口, 一定程度上增加了机器人的可扩展性。

4 结 论

(1) 机器人编程语言可以提供一种通用的方式来解决机器人与其它设备的接口, 同时也是机器人系统水平先进的重要标志。

(2) 动作级语言简单易用, 但编程效率低, 然而任务级语言远没有达到实用的角度。因此, 开发一种既简单易用, 又具有相对较高编程效率的机器人编程语言是迫切需要的。

(3) HAWRL方便的实现弧焊机器人程序的编写, 并且编程简单易学, 显示了较高的编程效率和复杂焊接任务的表达与描述能力。

(4) HAWRL提供了机器人离线编程系统、遥操作系统和示教编程系统与 OAAWRCS的统一接口, 提高了系统的扩展性和集成能力。

参考文献:

[1] 张连新, 高洪明, 吴 林, 等. 基于 PMAC的开放式弧焊机器人控制系统[J]. 焊接学报, 2003, 24(1): 85-88.

[2] 别卫春, 朱志红, 叶伯生, 等. HNC-Ⅱ机器人语言解释系统的研究与实践[J]. 机电一体化, 2000(3): 27-30

[3] 张爱红, 张秋菊. 机器人示教编程方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003(4): 47-49

[4] Joseph J, Pfeiffer J, Altair, a rule-based visual language for small mobile robots[J]. Journal of Visual Languages and Computing, 1998, 9(2): 127-150.

[5] Stanisko L, Guido B, Theocharis K. Mobile robot programming using natural language[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2002, 38(3): 171-181.

[6] 戴 齐, 姚先启. 机器人程序设计语言[J]. 机器人, 1997, 19(5): 390-400

[7] 叶 屹, 顾国昌, 潘洪泉. 小型机器人语言 ROBOT-L[J]. 计算机工程与应用, 1996(6): 31-34

作者简介: 张连新, 男, 1978年出生, 博士研究生。研究领域为工业机器人控制, 机器人焊接技术, 焊接自动化与智能化, 发表论文 6篇。

Email Lianxinzhang@hit.edu.cn

Sichuan, China). p93 – 96

Abstract To evaluate the welding quality of the dissimilar metals of D6A and 20 steels by robot automatic welding with X-ray test, the testing processes were arranged reasonably according to the welding structure and high quality testing on the elliptic multi-layer welds and accurate characterization of flaws were achieved by eliminating disturbance of weld appearance. The formation mechanism of cracks at the root of 20 steel with good weldability was analyzed. It can be attributed to great difference of thickness and tensile strength between the two kinds of steels, which leads to the cracks along bond line at the root of 20 steel by welding stress and tensile stress. According to the analyzed results, welding procedure was improved and cracks were restrained effectively.

Key words dissimilar metal; automatic welding; weld; X-ray test; welding crack

Characteristic parameter of dynamic resistance for splash in resistance spot welding low carbon steel WANG Kai LI Dong qing ZHANG Zhong diao LI Shuang shuang (State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p97 – 100

Abstract A kind of dynamic data acquisition system that aim at the production of plant was developed to acquire and analyse the character of splash in resistance sport welding (RSW) process. This system was used in the laboratory circumstance to acquire the data of RSW. The characteristics of dynamic resistance curve (DRC) were analysed with the influences of the welding current, electrode pressure, the surface state of workpiece and the short margin distance on the splash. The result shows that the forms of DRC and the change ratio curve, the peak value, the time of reaching at and staying at the peak, and the drop degree of the peak are different. There are some kinds of sudden change in different stage of the DRC. The earlier stage is more evident than the latter. Characteristic parameter of dynamic resistance for splash in resistance spot welding low carbon steel to some extent is reflected by the sudden change of DRC and its change ratio.

Key words low carbon steel; resistance spot welding; splash; single chip microcomputer

Numerical simulation of temperature field in plasma spraying on polymer matrix composite substrate CHENG Shi jie¹, GAO Jia shuang², LIU Ai guo², ZHAO Min hai² (1. Computer Center, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; 2. State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p101 – 104

Abstract Metal coating was made on polymer matrix composite substrate by plasma spraying and coating material was Al-Cu-Zn and Ni. Numerical simulation was made with ANSYS software. The research included the temperature change of substrate when coating material was different and the temperature field of

substrate and coating after spraying. The reason were found that the polymer whose the heat resistant temperature is low is not be oxidized and burnt when coating material is Al or Zn, but the interface of polymer will be oxidized and burnt when coating material is Ni or Cu.

Key words polymer matrix composite; plasma spraying; metal coating; numerical simulation

Hybrid programming language for arc welding robot

ZHANG Lian xin GAO Hong ming ZHANG Guang jun WU Lin (State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p105 – 108, 112

Abstract On the base of analysing characteristics and components of robot languages, hybrid arc welding robot language (HAWRL) was presented. Besides the sequential, conditional, iterative and subroutine functions that some normal computer programming languages needed, HAWRL has some functions about motion control and welding of robot, which is necessary for arc welding robot. In order to implement these functions, method of expressing data, commands set and variables are designed and a new program structure, which separates data from program, was presented. And then HAWRL have the advantages of the simplicity and convenience like the robot level language and high efficiency like the task level languages. Result show that the robot programs can be produced efficiently, quickly and easily by HAWRL and can be executed correctly. At the same time, it provides the general interface for robot to connect other external devices.

Key words robot language; robot programming; arc welding robot

Forecast of electrode life in spot welding of galvanized steel sheet WANG Lu QIAN Jing feng WANG Min (School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). p109 – 112

Abstract The electrode life is forecasted by comparing continuous spot welding experiment result with numerical simulation. The increasing rule of electrode diameter with the increase of the number of welding spots can be obtained by continuous spot welding of galvanized steel sheet and the relative nugget diameter can be computed through ANSYS with different electrode tip diameters. So the relationship between the number of welding spots and nugget diameter can be defined by synthesizing the experiment and the simulation. Based on the definition of the critical nugget diameter, it is possible to forecast the electrode life. The result shows that the error between two methods is no more than 15%. So it can bring some meaningful effect to define the time for repairing and changing electrode in the practical production process.

Key words resistance spot welding; electrode life; galvanized steel sheet