

# 由单一机器人实现多平台铆接工艺的研究

周劭标 赵建姣 孟德峰 陈冲

(一汽模具制造有限公司, 长春 130013)

**摘要:** 由于铆接工艺多用于铝材连接, 导致此工艺在汽车白车身上的使用具有局限性, 因此在白车身上应用较少。为解决铆接工艺与其他基础工艺的兼容问题, 基于此情况进行了多种铆接工艺的整合研究, 设计由单一机器人实现多种铆接工艺的方案, 并进行验证分析。主要包括自冲铆接工艺、无铆钉自冲铆接工艺、旋转攻丝铆接工艺的整合, 同时对其他工艺的后期融合进行了客观分析。验证结果表明, 多种铆接工艺整合可以在一个生产节拍中提高设备开动率, 降低生产成本和能源消耗。

**关键词:** 铆接工艺 铝材连接 工艺的整合

中图分类号: U466

文献标识码: B

DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20230025

## Research on Riveting Process for Multi-Platforms by A Single Robot

Zhou Zhenbiao, Zhao Jianjiao, Meng Defeng, Chen Chong

(FAW Tooling Die Manufacturing Co., Ltd., Changchun 130013)

**Abstract:** Due to the fact that riveting technology is mostly applied for aluminum connection, its application in automotive Body In White (BIW) is limited. To solve the issue of compatibility between riveting process and other basic processes, this paper studied the integration of multiple riveting processes, designed a scheme to achieve multiple riveting processes employing a single robot, validation analysis was conducted. The integration mainly includes self-piercing riveting process, rivetless self-piercing riveting process and rotary tapping riveting process. Meanwhile this paper also objectively analyzed the post-integration of other processes. The validation results indicate that the integration of multiple riveting processes can improve equipment start-up rate, reduce production costs and energy consumption in a single production cycle.

**Key words:** Riveting process, Aluminum connection, Process integration

## 1 前言

目前, 汽车白车身自动化生产线工艺分为基础工艺和特殊工艺, 基础工艺应用广泛, 技术成熟, 特殊工艺普遍应用在汽车特殊材料和特殊位置处。特殊工艺受到经济性等条件限制, 使用率较低, 在一个生产节拍内特殊工艺的设备开动率较低。基于此情况, 以铆接设备为例, 进行特殊工艺整合的研究工作。通过方案设计, 使一台机器

作者简介: 周劭标(1993—), 男, 工程师, 学士学位, 研究方向为工业机器人。

### 参考文献引用格式:

周劭标, 赵建姣, 孟德峰, 等. 由单一机器人实现多平台铆接工艺的研究[J]. 汽车工艺与材料, 2023(12): 62-66.

ZHOU Z B, ZHAO J J, MENG D F, et al. Research on Riveting Process for Multi-Platforms by A Single Robot[J]. Automobile Technology & Material, 2023(12): 62-66.

人完成多种工艺工作, 同时可以继续融合基础工艺, 减少机器人的采购数量, 降低生产成本。

## 2 铆接工艺原理

### 2.1 自冲铆接工艺

自冲铆接工艺 (Self Piercing Rivet, SPR) 属于铆接的特殊工艺, 需要消耗铆钉。SPR 工艺工作过程可以分解为 3 个步骤。步骤 1 将铆钉输送到铆枪头位置, 铆枪夹紧准备铆接; 步骤 2 施加压力, 铆

钉因压力作用穿透板材,然后通过冲模实现2种混合材料的连接;步骤3铆接结束铆枪离开,如图1所示。

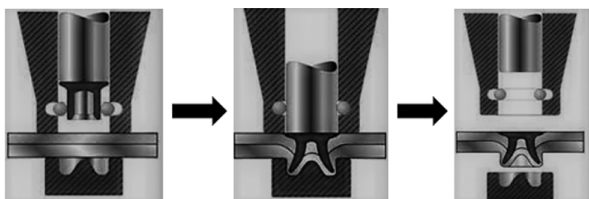


图1 SPR工艺流程

SPR工艺通过铆钉的形变实现2种不同材质材料的连接,具有对材料破坏性小、连接强度高、克服电化学腐蚀等优点,在汽车生产中广泛应用于铝材料与其他材料的连接中。但因其成本较高、不能连接脆性材料、只能使用C型铆枪、铆接点有凸起等导致其使用较少。

### 2.2 无铆钉自冲铆接工艺

无铆钉自冲铆接(Clinch)工艺与SPR工艺类似,都需要冲模来实现2种材料的连接。与自冲铆接工艺不同的是Clinch工艺不需要铆钉,是将带有冲模的铆枪静极臂接触板材,然后动极臂进行冲压动作,从而实现2种混合材料的连接,如图2所示。

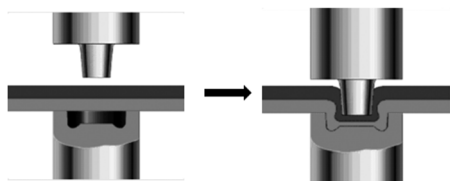
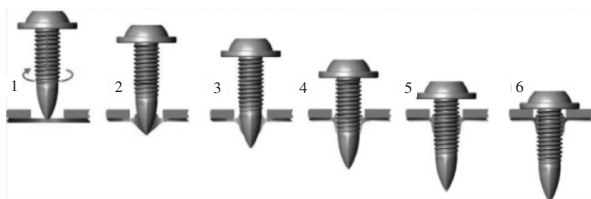


图2 Clinch工艺流程

### 2.3 旋转攻丝铆接工艺

旋转攻丝铆接(Flow Drill Screw, FDS)工艺的铆钉通过高频淬火工艺制作而成,在铆接过程中通过旋转摩擦生热,在旋转过程中用较小的扭矩连接2种混合材料。如图3所示,旋转攻丝铆接结束冷却后,需要很大的松开扭矩,使连接更紧固。



1.铆钉与板材接触;2.铆钉快速旋转摩擦生热;3.铆钉穿透板材并减速旋转;4.铆钉减速旋转实现攻丝;5.铆钉持续减速增大扭矩;6.达到设定扭力值停止旋转完成铆接

图3 FDS工艺流程

## 3 单一机器人实现多种铆接工艺的方案

### 3.1 硬件组成

#### 3.1.1 单一工艺的硬件组成

进行多工艺整合前需要了解单一工艺的硬件组成,以焊接机器人为例,硬件组成主要包括机器人控制柜、机器人、焊枪、焊接控制柜,如图4所示。以上设备通过Profinet总线进行通讯,实现信号传输并完成自动化工作。

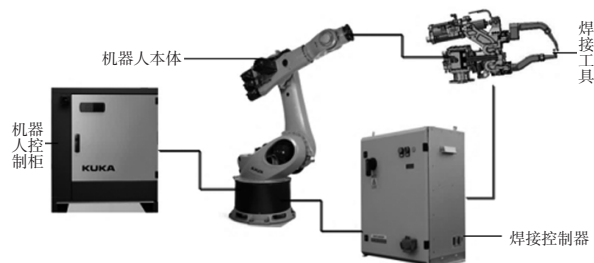


图4 单一工艺机器人硬件组成

#### 3.1.2 多工艺的硬件组成

通过快换工具(以史陶比尔快换工具为例)可以解决机器人多工艺整合的问题。在单一工艺机器人的硬件基础上,加入快换工具可以实现工具与机器人分离,进而实现工具切换。工具与机器人的连接包括电源、网络通讯、水气介质,快换工具可实现以上介质的连接和断开。如图5所示,快换工具的组成包括用于向工具侧提供水气介质的气源模块,向工具侧提供380 V焊接电源及24 V模块电源的电源模块,用于确保可以进行工具安全切换的安全模块。只有当安全模块有反馈信号时,才可以进行工具和机器人的分离和连接动作,实现工具的切换。

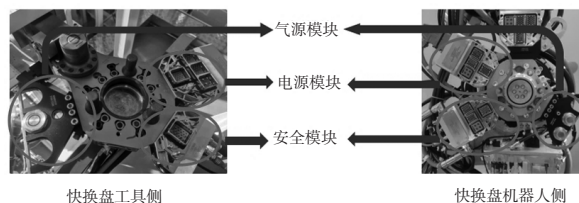


图5 快换工具结构

#### 3.1.3 限制条件及解决方案

此课题的工具切换基于快换工具进行调整,铆接工具不同于其他焊接工具,在每个铆接点都需要进行铆钉的传输动作,而不同的铆接工具需要不同规格的铆钉。基于此情况,若想实现铆接

工具的切换需要改良送钉管,解决铆钉持续传输的问题,对于送钉管的改良目前制定了2种解决方案。

方案 1:通过快换工具进行直连,将送钉管在快换工具处断开,连接工具时送钉管两端接触,实现铆钉的传输工作。

方案 2:通过在工具侧添加储料器来储存铆钉,如图 6 所示,工具脱离后送钉管仍可以工作。在每次工作前后判断储料器是否低于铆钉最少储存量,若储存不足则进行铆钉的填充。

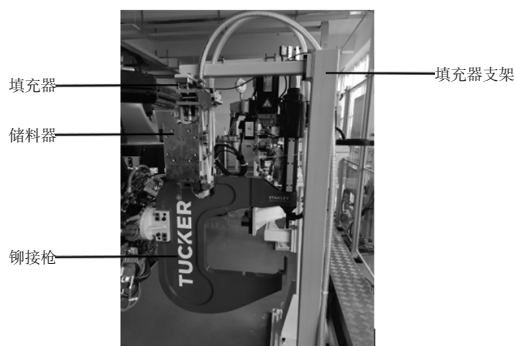


图 6 铆接枪添加储料器结构

对 2 种方案的优缺点进行多方面对比分析,如表 1 所示,经过对比可知,不同规格的铆钉不便于使用同一种铆钉传输方案。FDS 工艺的铆钉较长,不宜用储料器进行储存,且较长的铆钉不易在送钉管内发生反转,对送钉管的精度要求较低,方案 1 更适合 FDS 铆接设备。SPR 工艺的铆钉较短,为避免铆钉在送钉管内发生旋转对设备造成损坏,该工艺适合储料器储存,方案 2 更适合 SPR 工艺铆接设备。

表 1 方案对比分析

对比项	方案 1	方案 2
经济性	成本低,不需要复杂的连接件	成本高,需要添加辅助设备
设备磨损速度	送钉管直连机器人,机器人运动拖拽送钉管,设备后期磨损快	送钉管固定,不随机器人移动,设备后期无磨损
设备美观性	送钉管需要在管线包外进行连接,设备工整性及美观性较低	送钉管单独连接填充器,不需要预留机器人活动的长度,较为工整
程序书写	程序较为简单,不需要考虑额外设备	要进行储料器和填充器的程序书写,程序较多
工作效率	单次工作效率与单一工艺的工作效率相同	单次工作效率与单一工艺的工作效率相同

### 3.2 软件组成

#### 3.2.1 设备通讯

此项目研究所用的设备通过 Profinet 进行通讯,在进行通讯设备的配置时,需要利用 Work Visual 软件对 SPR 工艺的填充器和储料器进行 I/O 信号点模块的配置。如图 7 所示,选择 32 字节 I/O 信号的配置,与单一工艺不同的是输入输出端分别预留 1 byte 的信号用于储料器、填充器与机器人的交互使用。

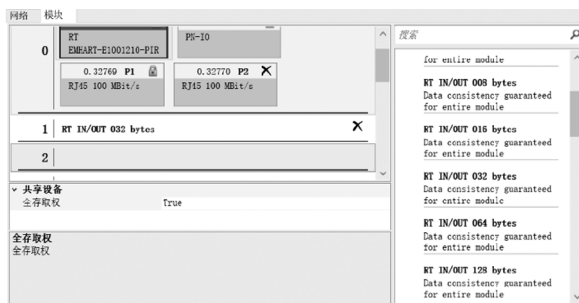


图 7 储料器的通讯模块配置

对储料器和填充器的通讯模块进行输入和输出的信号点映射,如图 8 所示,定义机器人与储料器的信号点。只有当储料器出现储料下限报警,同时填充器正常的情况下,才可以进行铆钉的填充工作。



图 8 储料器和填充器的信号映射

将 Work Visual 软件做好的项目下载到机器人系统中,并检查机器人与铆接控制器是否通讯成功。如图 9 所示,在示教器上输出相应的信号点,然后检查铆接控制器是否收到对应的信号点,如果能收到则表示通讯成功。

#### 3.2.2 程序制定

对储料器和填充器的信号点在机器人系统中的 Configdate 文件进行变量定义,如图 10 所示,实现机器人在程序中调用变量名称即可完成与设备

的信息交互。



图9 机器人信号点的输出检查

```

7 ;-----*****
8 ;Config SPR Output/Input GLOBAL SIGNAL
9 ;Robot To SPR
10 GLOBAL SIGNAL DOSPR_Start $OUT[1301]
11 GLOBAL SIGNAL DOSPR_ForcedRC $OUT[1302]
12 GLOBAL SIGNAL DOSPR_Restart $OUT[1303]
13 GLOBAL SIGNAL DOSPR_withoutpart $OUT[1305]
14 GLOBAL SIGNAL Dospr_close $OUT[1306]
15 GLOBAL SIGNAL Dospr_open $OUT[1307]
16 GLOBAL SIGNAL Dospr_pos $OUT[1308]
17 GLOBAL SIGNAL Dospr_pos_100 $OUT[1309]
18 GLOBAL SIGNAL Dospr_basic_pos $OUT[1310]

```

图10 信号点定义名称

对储料器的填充进行机器人程序的编写,如图11所示。首先需要判断填充器是否准备就绪,只有填充器发出准备就绪信号,机器人才可以执行填充程序。当机器人到达填充位时,启动填充器开始填充,直到收到填充完成信号后,才可以停止填充。若填充过程中出现故障,需要进行故障消除,然后利用程序跳转标签跳转程序继续进行填充,直到填充完成。

```

3 gorobfaultinfo=0
4 IF (Dispr_Filready==TRUE) AND (Dispr_Rivetempty==TRUE) THEN
5   DOSpr_Startfil=TRUE
6   WAIT FOR (Dispr_Filcompleted==TRUE) OR (Dispr_Fault==TRUE)
7   label:
8   IF (Dispr_Fault==TRUE) THEN
9     DOSpr_Startfil=FALSE
10    DOSPR_Restart=TRUE
11    $TIMER[21]=0
12    $TIMER_STOP[21]=FALSE
13    WAIT FOR (Dispr_Fault==FALSE) OR ($TIMER[21]>=2000)
14    IF ($TIMER[21]>=2000) THEN
15      $TIMER_STOP[21]=TRUE
16      DOSPR_FORCEDRC=TRUE
17      gorobfaultinfo=3504
18      $LOOP_MSG[]="riveting have mistake, please check riveting "
19      WAIT FOR (Dispr_Fault==FALSE)
20      DOSPR_FORCEDRC=FALSE
21      DOSPR_Restart=FALSE
22      $LOOP_MSG[]=""
23      gorobfaultinfo=0
24    ENDIF
25    DOSPR_Restart=FALSE
26    DOSpr_Startfil=TRUE
27  ENDIF

```

图11 储料器填充程序

对工具切换进行程序编写,如图12所示,在工具与机器人分离前需要将机器人与工具的网络断

开。这里用到了2个交互信号点,只有当机器人请求断开网络,然后铆接控制器反馈已断开才可以使机器人与工具分离,若断开故障则提示报警信息,需要检查后继续执行程序实现工具的切换。同样在机器人与工具连接时,仍需要2个信号点交互成功后才可以进行下一步动作。FDS工艺的送钉管采用快换工具直连的方式进行送钉动作,所以不需要进行储料程序的编写,只需编写工具切换程序即可,工具切换程序同SPR工艺相同。

```

17 REPEAT
18   GoRobFaultInfo=0
19   IF (TOOLNR=4) THEN
20     GoRobFaultInfo=3509
21     $LOOP_MSG[]="riveting TOOL Number must be 1 to 4,please check Program "
22   HALT
23   ENDIF
24   UNTIL GoRobFaultInfo=0
25   $LOOP_MSG[]=""
26   GoRobFaultInfo=0
27   Gospr_Tool_number=TOOLNR
28   Dospr_DISCONNECT=FALSE
29   Dospr_Connect=TRUE
30   $TIMER[21]=0
31   $TIMER_STOP[21]=FALSE
32   WAIT FOR (Dispr_connected==TRUE) OR ($TIMER[21]>=2000)
33   IF $TIMER[21]>2000 THEN
34     gorobfaultinfo=3507
35     $LOOP_MSG[]="riveting spindle connet failed "
36   WAIT FOR (Dispr_connected==TRUE)
37   ENDIF
38   $LOOP_MSG[]=""
39   gorobfaultinfo=0
40   WAIT FOR (Dispr_connected==TRUE)
41   Dospr_Connect=FALSE
42 END

```

图12 工具切换程序

### 3.2.3 功能流程

图13为项目功能流程,在每次铆接工作前需要判断储料器情况,若储料器低于设置的下限则进入填充程序。储料器下限值可以根据现场实际生产需求调整,可调节性较高。

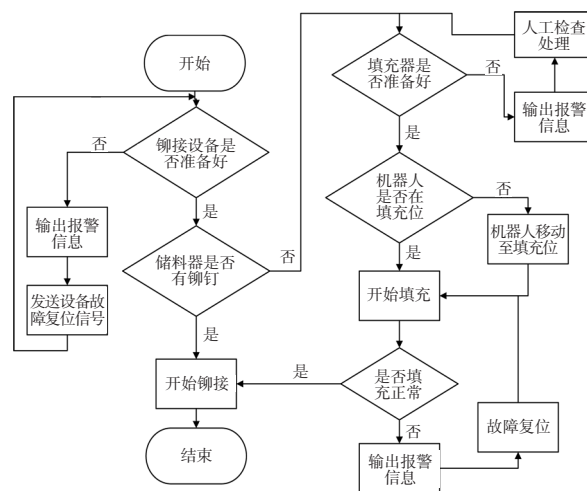


图13 项目功能流程

## 4 应用验证

对此课题提出的改进项目进行验证,检查其

是否满足实际生产需求,并进行记录,如表 2 所示。

表 2 改进项验证	
验证项目	验证结果
单次工具切换所需时间	单次工具切换耗时 19 s, 满足生产需求
储料器设置范围内的最大储料量	最大储存量为 43 枚铆钉, 满足单次生产需求, 对于单次生产消耗量较大时, 需要提高储料器容量
储料器为空时, 填充器单次填充消耗的时间	单次填充消耗时间为 16 s, 可满足生产节拍较长的生产线需求
统计试用阶段填充器的故障率	实验填充次数为 116 次, 故障次数 1 次, 故障率 0.86%, 仍有优化空间
铆接质量验证	因未改变铆枪结构, 铆接质量未受到影响

### 5 结束语

目前国内的白车身连接工艺以电阻点焊工艺为主, 部分合资汽车采用 Clinch 及 SPR 工艺。虽然国内外使用铆接设备较多, 但是多以单一工艺进行使用, 多工艺的铆接市场使用量仍然较少。基于目前我国白车身的生产使用较少的铆接工艺的情况下, 通过使用多工艺结合的方法可以减少机器人的采购数量, 降低能源消耗, 减少生产成本, 提高设备使用率。此课题研究结果可以应用到具有少量特殊工艺的生产线中, 可以与其他基础工艺进行整合, 达到降本增效的目的。

