

航空不锈钢蒙皮零件焊接变形控制及缺陷检测

Weld Deform Control and Default Inspection of Aviation Stainless Steel Skin Part

中航工业西安飞机国际航空制造股份有限公司 柳日锋

[摘要] 航空上的不锈钢蒙皮零组件具有尺寸大、外形结构复杂、装配协调关系复杂等特点。由于不锈钢蒙皮焊接时零件变形大,很容易引起后续的装配制造困难,因此应对其加强工艺过程控制,主要从蒙皮零件成形、焊接工艺成形、焊后缺陷检测等诸多方面进行控制,保证焊后的蒙皮组件满足符合性要求。

关键词: 焊接变形 不锈钢蒙皮 缺陷检测

[ABSTRACT] Aviation stainless steel skin parts and sub-assemblies have the properties of large size, complex outside configuration, complex assembly correspond connection, etc. Because when the stainless steel skin is welding parts, deform is very large, so it is very easy to bring to follow-up assembly difficulty, therefore welding process should be controlled. These items for example skin forming, welding forming, default inspection, etc should be considered. The consistency of skin sub-assemblies is assured through these process after welded.

Keywords: Weld deform Stainless steel skin Default inspection

目前,焊接技术在航空领域的飞机、发动机结构的制造中得到了广泛应用。先进的焊接制造技术既获得了优质的焊缝和高的尺寸精度,又满足了飞机结构整体化和轻量化的要求。

蒙皮类零件是飞机结构上的重要零组件。在飞机上的一些部位,由于受飞机结构限制等原因影响而无法采用整体成形蒙皮参与铆接,因此设计部门采用的结构形式是必须将蒙皮分为易于成形的两块或多块蒙皮,采用焊接的形式将其形成一个整体蒙皮后参与后续的铆接。本文将对航空零件中使用到的不锈钢蒙皮零件的焊接变形控制及缺陷检测方法进行探讨,以保证焊接结构完整性的实现。

1 不锈钢蒙皮零件焊前的成形控制方法

航空上的不锈钢蒙皮零组件具有尺寸大、外形结构复杂(一般为双曲度外形,个别为单曲度外形)、装配协调关系复杂等特点。不锈钢蒙皮零件材料大多采用

厚度在 $\delta 2.0$ 以下的奥氏体类不锈钢薄板,材料牌号为 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9 等。其典型结构如图 1 所示。

在部装配现场,内、外蒙皮从零件制造到在型架上进行装配的工艺流程如图 2 所示。

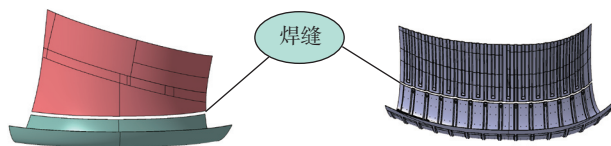


图1 2块小蒙皮焊接成大蒙皮典型结构

Fig.1 Large skin part structure welded from 2 small skins

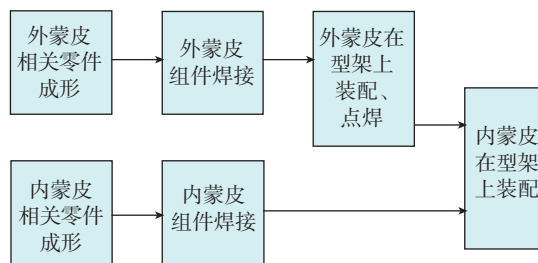


图2 装配工艺流程图

Fig.2 Flow chart of assembly process

从工艺流程图分析,部件装配时,如果焊接后钣金零件与型架的外形吻合程度不好,则在装配现场修形的工作量将大大增加。钣金焊接厂交付给部件装配厂的每块内、外蒙皮组件是由几块蒙皮零件焊接而成,这些蒙皮零件的成形质量好坏将直接影响到蒙皮组件的焊接质量,进而影响到蒙皮组件的装配质量。因此,为了避免或减少装配过程中的带应力装配,提高产品质量,就应该对交付部装的不锈钢蒙皮焊接采用有效方法。

从装配需求分析,组件焊接后变形大是造成装配困难的主要原因,因此交付部装厂前,应加强焊接组件的变形控制工作;做好不锈钢蒙皮钣金零件的成形工艺及控制,对后续的不锈钢蒙皮零件焊接和部件装配将产生很大的影响。不锈钢蒙皮钣金零件的成形工艺及控制方法如下。

1.1 采用滚弯工艺成形

对于单曲度的蒙皮一般采用滚弯工艺成形,用样板

进行检查(图3)。

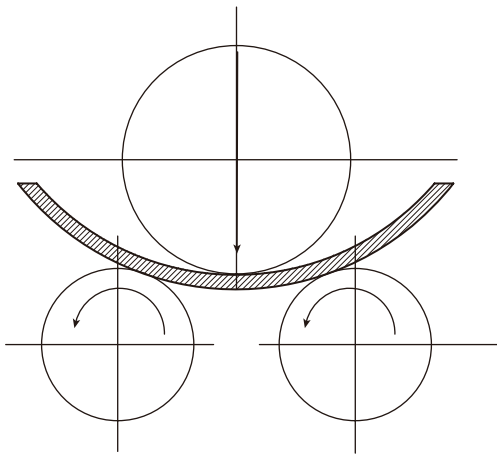


图3 滚弯成形工艺示意图
Fig.3 Roll forming process

1.2 采用拉伸工艺成形

对于曲度较小的双曲度的蒙皮一般采用拉伸工艺成形,拉伸工装为生产检验共用的数控拉伸模或者按标准模胎翻制的自制拉伸模。自制拉伸模由于存在较大的翻制误差,影响零件的制造精度,此时零件修形、验收均按标准模胎进行,由于材料较硬,对于零件边缘可见处可直观地进行修整、检查,而对于零件中心部位只能按经验修整、检查,因此零件的成形质量较差;而数控加工的拉伸工装,由于不存在翻制误差,因此工装本身的加工精度高,进而提高了零件拉伸成形的制造精度,提高了零件的成形质量(图4)。

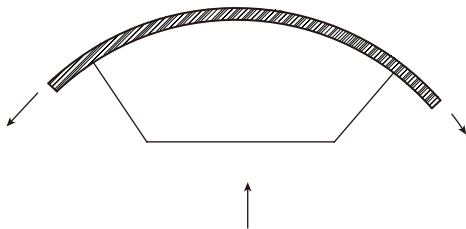


图4 拉伸成形工艺示意图
Fig.4 Stretch forming process

1.3 采用落压工艺成形

考虑到不锈钢蒙皮零件(如0Cr18Ni9薄板)具有材料较硬、材料延展性差等特点,对于外形复杂、曲面急剧变化的双曲度的蒙皮,一般采用落压工艺成形,再经过校形或修整,达到图纸要求。落压成形使用的工装一般使用铅锌基体的数控模胎或按数控模胎翻制的自制落压模,用落压模进行检查。

为了提供零件的制造精度和零件检验的可控性,外蒙皮零件改变以往落压模按标准模翻制的制造工艺,申请了凸、凹模均数控加工的落压模,不但提高了零件的

成形精度,而且在零件检查时,可以通过凸、凹模并用,提高零件的制造符合性。

对于波纹板之类的内蒙皮零件,由于零件材料较硬,同时零件中布有大量的通气道,使得零件本身的强度、刚性大大增加,零件在成形时难度较大,修整时回弹大。同时零件在落压成形时,落压床工作力度不能准确控制,工作力度过大,不利于零件成形过程中的材料流动与延展,零件成形回弹大,致使手工修整量加大,且落压模表面划伤,损坏严重。因此,为了提供波纹板零件的制造精度和零件检验的可控性,改变以往落压模按标准模翻制的制造工艺,申请凸、凹模均数控加工的落压模,这样不但提高了零件的制造精度,而且在零件检查时,可以通过凸、凹模并用,提高零件的制造符合性。典型的落压模如图5所示。

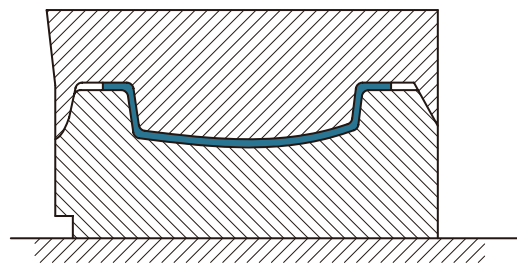


图5 典型落压模示意图
Fig.5 Typical drop hammer die

1.4 采用拉深工艺成形

拉深成形可以制造单阶和多阶的筒形、锥形、球形和各种复杂的曲面的薄壁立体零件,由于拉深成形过程中液压机的工作压力可动态精确控制,利于成形过程中的材料流动与延展,零件的表面质量优于落压成形,在拉深成形后的精确切割如采用激光切割,则不但可以提高零件的切割精度,也减小了零件的切割变形,提高零件的贴胎度,从而可以提高零件质量,并大量减少敲修工作量。

1.5 采用配套模胎对交付钣金焊接厂前的零件修形

采用配套模胎进行交付钣金焊接厂前的零件焊接前的修形处理主要是为了保证零件焊接前与配套模胎的符合程度,提高焊前零件的制造符合性,为后续的组件焊接提供一个准确的基准和保证。针对铸铝模胎容易损伤的问题,现在一般采用钢质的配套模胎进行修形。

2 不锈钢蒙皮零件的焊接工艺方法

从装配需求分析,组件焊接后变形大是造成装配困难的主要原因,因此钣金焊接厂应做好焊前准备工作,并选择焊接变形较小的工艺方法,以加强焊接组件的变

形控制工作,从而满足装配需求。

2.1 焊前准备

2.1.1 材质分析

不锈钢蒙皮零件在焊接前必须了解钢材化学成分,弄清不锈钢中的各种元素含量,选择适当的焊条或焊丝,制定合理的焊接工艺以保证焊缝接头质量。

2.1.2 焊条或焊丝选择

不锈钢在焊接时选择焊条或焊丝是很关键的,如果选择不妥,不但会降低不锈钢蒙皮零件焊接接头的强度和形成晶间腐蚀的倾向,而且也给焊接造成困难。所以在选择焊条的时候一定要注意根据材质、工作条件(包括工作温度、接触介质)妥善选择焊条或焊丝,以保证焊缝质量。

(1) 不锈钢焊条的药皮通常分钛钙型、低氢性两种。由于低氢性药皮的焊条适宜于全位置焊接,并不易产生缺陷(夹渣、未焊透等),并且有很强的抗热裂性能,因此不锈钢蒙皮零件在焊接时一般采用低氢性药皮的焊条。

(2) 各种不锈钢焊条在使用时应保持干燥。低氢性药皮的焊条应经 200~250℃ 烘 1h,但温度不能过高,时间不能过长,不能重复烘干,应用一点烘一点,否则药皮容易剥落;另外要防止焊条药皮沾上油污迹和其他脏物,以免使焊缝在焊接过程中增加碳量影响焊接质量。

(3) 应根据所焊接蒙皮的大小,选择适当直径的焊条或焊丝。如果焊条或焊丝过细,焊条或焊丝容易发红,药皮易脱落;焊条或焊丝过粗时,电流增大,使焊缝区域温度增高,热影响区加宽,焊缝冷却缓慢,热影响区将受到 450~850℃ 的敏化温度的影响,不锈钢中的铬形成碳化物在晶间析出,出现晶间腐蚀,并存在较大的残余应力。因此焊条或焊丝选择必须适当。

2.1.3 焊前处理

不锈钢焊口表面粘有油污、杂物等,会影响焊接质量,使焊缝含碳量增加,易产生气孔、裂纹等缺陷,对耐腐蚀性能和机械强度都有一定的影响。

在焊接之前,零件待焊区域和焊丝在焊接前均应进行清理,不得有氧化物、锈蚀、油污和其他外来物。焊前一般要对被焊之不锈钢边缘 15~20mm 处进行清洗。

不锈钢蒙皮零件焊前一般进行吹砂或用有机溶剂除油,然后用钢丝刷或砂纸打磨待焊接区域。对于由铝锌或铝锌模成型的不锈钢蒙皮零件焊前应进行酸洗。

2.2 不锈钢蒙皮零件采用的焊接工艺方法

不锈钢,特别是奥氏体类不锈钢,热膨胀系数大,有可能引起较大的焊接变形。

为了保证蒙皮零组件焊后的符合性,符合图纸要求,就要提高对零件的焊前修配要求,并在焊前严格检查零件的贴胎度,对贴胎间隙较大处进行逐点敲修;保

证两个零件焊缝处对合间隙良好,不存在阶差等,从源头上减轻对零件变形的影响。

由于不锈钢蒙皮焊接组件的焊接结构复杂,体积较大且为双曲面结构,焊缝多且长,为了保证不锈钢蒙皮零件的焊接质量,应充分考虑到不锈钢蒙皮厚度薄。所需焊接的焊缝是曲线甚至是空间曲线等特点,一般采用手工氩弧焊焊接的方法进行焊接,另外采用氩弧焊自动焊接工艺以及激光焊接工艺也能满足焊接要求,目前在航空企业也逐步得到应用。

2.2.1 氩弧焊焊接工艺

氩弧焊是以氩气作为保护气体的电弧焊,氩气为惰性气体,可保护电极和熔化金属不受空气的有害作用。在高温作用下,氩气不和金属起化学反应,也不溶于金属,因此氩弧焊的质量比较高^[1]。

氩气是惰性气体,具有高温下不分解又不与焊缝金属起化学反应的特性,密度比空气大 37%,使用时不易漂浮失散,所以是一种理想的保护气体,使用氩气的纯度应大于 99.95% 以上。

手工氩弧焊可用于薄的不锈钢焊件的焊接或厚的不锈钢单面焊封底的焊接。氩弧焊的优点为焊接熔池保护好、焊缝质量好、电弧稳定、没有熔渣、热能量集中和焊件变形小等。

由于不锈钢蒙皮厚度均小于 2mm,因此不锈钢蒙皮焊接时不需制出焊缝坡口。

金属焊接时,在其加热和随后冷却过程中会产生相当大的温度应力和变形。

它们出现的主要原因是:不均匀的加热,熔敷金属转变到固态时的收缩,熔敷金属的热影响区的基本金属的组织变化引起的体积变化。

作为防止焊接变形的的方法,应选择正确的焊接方法并严格遵守有关焊接规范;应优化零件的的焊接顺序和焊缝熔敷顺序;并采用保护焊夹具。

零件定位焊时,应先焊接少量定位点,然后钳工对焊接变形处进行敲修,再逐次进行加密定位点并配合敲修,最大可能地减少焊接变形。减少材料氧化及其他焊接缺陷的出现。

零件定位焊时,应用保护焊夹具,这样既可以用于零件焊接时焊缝反面通氩气保护,避免材料氧化及其他焊接缺陷的出现,提高焊缝性能及焊缝的外观质量;另外也可以使工件与保护焊夹具接触,从而从焊件导出热量,减小热能量对工件的影响等。

为了保证蒙皮零组件焊后装配时与装配型架之间的贴合程度,改善或降低零组件的装配难度,就需将焊缝打磨至与原材料齐平,这样不但使零件焊缝的外观质量提高,也有利于装配工作的顺利进行。

为确保焊接质量,保证交付组件的装配符合性,钣金焊接厂应申请检验工装,保证交付状态与部件装配厂使用状态一致,并用于组件交付前在检验工装上检查外形。申请检验夹具用于焊接完成后零件的外形检查,检验夹具与装配型架采用相同的设计和定位基准,这样就可以使装配现场发现的焊接后零件符合性不好问题在焊接车间就反映出来,通过采取行之有效的办法来解决。并通过采用以上办法,原来钣金焊接厂交付装配厂的蒙皮组件与型架上对应卡板之间不贴合处最大达10~20mm的情况的到根本性改善,不贴合处最大只有1~2mm。在装配现场对蒙皮组件稍经修形处理即可满足要求。

采用氩弧焊自动焊接工艺也能满足焊接要求,但变形量与手工氩弧焊焊接基本相当,并且要使用氩弧焊自动焊接设备来完成以上操作,因此采用时有必要考虑性价比问题。

2.2.2 激光焊接工艺

激光束作为一种新的高能热源用于焊接一开始就受到各方面的重视,发展速度惊人。

激光焊接的基本原理是:利用激光器收集产生的激光束,通过聚焦系统可聚焦到十分微小的焦点(光斑),其能量密度可达 105 W/cm^2 以上,当调焦到焊件接缝时,光能转换为热能,从而使金属熔化成焊接接头^[1]。

激光焊接技术在20世纪80年代中期首先应用于车身制造;90年代中期应用于船舶制造领域;21世纪初期应用于A380大飞机机身制造中。空中客车公司应用激光焊接技术代替铆接,成功实现了飞机减重20%的目标,为激光技术在航空工业的应用作出了开创性贡献。激光焊接能够实现多种类型材料的连接,而且具有许多其他熔焊工艺无法比拟的优越性,其中最为突出的是激光焊接能够连接航空制造中比较难焊的波板合金材料(如铝合金、钛合金等),并且具有构件变形小、接头质量高、重现性好等优点^[2]。激光焊接的应用如图6所示。

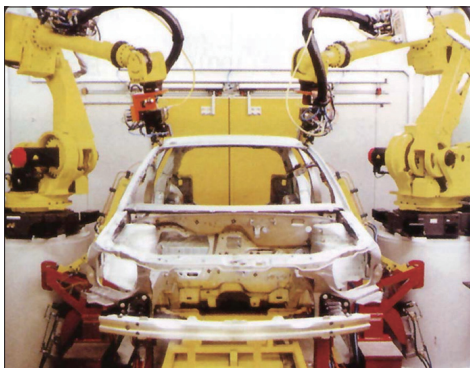


图6 激光焊接用于宝马汽车生产

Fig.6 Laser welding for BMW automobile production

基于激光焊接的优点以及激光束的光束聚焦后在焦点上加热范围少于1mm的特点。激光束用于焊接,不仅焊接速度快,焊接接头的变形和应力也相当小,作为精密焊接无疑是理想的方法。不锈钢蒙皮零组件采用激光焊接的工艺进行焊接,变形最大只有0.7mm,既可以获得质量的焊缝,也可以减少零件组件的焊接变形。

2.3 不锈钢蒙皮焊接的过程检验

把焊接检测技术扩展到整个焊接生产和产品使用过程中去,才能更充分、更有效地发挥各种检测方法的积极作用,才能达到预防和及时防止由缺陷所造成的废品和事故。焊接的过程检验,基本上由焊前检验、焊接过程检验、焊后检验等组成。下面先讨论焊前检验和焊接过程检验。

2.3.1 焊前检验

焊前检验主要是对不锈钢蒙皮焊前准备的检查,是贯彻预防为主方针,最大限度地避免和减少焊接缺陷的产生,保证焊接质量的积极有效措施。焊前检验的主要内容:基本金属质量检验、焊接材料质量检验、焊接结构设计鉴定、焊件备料的检查、焊件装配质量检查、能源的检查、辅机具的检查、工具的检查、焊接环境检查和焊工资格检查。

2.3.2 焊接过程检验

焊接过程不仅指不锈钢蒙皮焊接形成焊缝的过程,也应包括后热过程。应当指出,焊工直接操纵焊接设备并能充分接近焊接区和随时调整焊接参数,以适应焊缝成形质量的要求。因此,焊工的自检能积极主动地控制焊接质量。焊接过程检验的主要内容:焊接规范的检验、复核焊接材料、焊接顺序的检查和检查后热。

3 不锈钢蒙皮零件的缺陷检测方法

在焊接中,焊件可能产生焊缝缺陷、局部缺陷和变形。在焊接结构(件)中要获得无缺陷的焊接接头,在技术上是相当困难的,也是不经济的。为了满足焊接结构(件)的使用要求,应该把缺陷限制在一定的范围之内,使其对焊接结构(件)的运行不至产生危害。由于不同的焊接结构(件)使用的场合不同,对其质量要求不一样,因而对缺陷的容限范围也不相同。焊接过程中在焊接接头中产生的不符合标准要求的缺陷称为焊接缺陷。

焊接结构(件)中由于缺陷的存在,影响着焊接接头的质量。评定焊接接头质量优劣的依据是缺陷的种类、大小、数量、形态、分布及危害程度。若接头中存在着焊接缺陷,一般可通过补焊来修复,或者采取铲除焊道后重新进行焊接,有时直接作为判废的依据。

焊接缺陷对质量的影响,主要是对结构负载强度和

耐腐蚀性能的影响。由于缺陷的存在减少了结构承载的有效面积,更主要的是在缺陷周围产生了应力集中。因此,焊接缺陷对结构的净载强度、疲劳强度、脆性断裂以及抗应力腐蚀开裂都有重大的影响。

常见的焊接缺陷有焊缝外形尺寸不符合要求、弧坑、焊瘤、金属未焊透、过热、零件咬边、夹渣、表面的裂纹以及气孔等。

不锈钢蒙皮零件焊接后,也可能产生焊缝缺陷,为了保证零件的焊接质量和结构完整性,一般采用非破坏性检验方式中的外观检查和无损检验进行缺陷检测,无损检验方式中一般采用磁粉探伤、渗透探伤和超声波探伤等方法。

3.1 外观检查

用放大镜、卡尺和专用工具对焊缝作外观检验和测量,能发现外部裂纹、气孔和咬边。

3.2 无损检验

无损检验之所以广泛应用,是因为其有以下优点:

(1)可直接对所生产的产品进行试验,而与零件的成本或可得到的数量无关,除去坏零件之外也没多大损失;

(2)既能对产品进行普验,也可对典型的抽样进行试验;

(3)对同一产品既可同时又可依次采用不同的试验方法;

(4)对同一产品可以重复进行同一种试验;

(5)可对使用着的零件进行检测;

(6)可直接测量运转使用期内的累计影响;

(7)可查明失效的机理;

(8)试样很少或无需制备;

(9)为了应用于现场,设备往往是携带式的;

(10)劳动成本很低,对同类零件进行重复性试验时更是如此。

3.2.1 磁力探伤

磁力探伤是通过对铁磁材料进行磁化所产生的漏磁场,来发现其表面或近表面缺陷的无损检验法。

磁力探伤可发现不锈钢蒙皮零件焊接焊缝中内部裂纹、金属未焊透处和夹渣。

磁力探伤包括磁粉法、磁敏探头法和漏磁法。

铁磁材料的工件被磁化后,在其表面和近表面的缺陷处磁力线发生变形,逸出工件表面形成漏磁场。用磁粉法、磁敏探头法和漏磁法将漏磁场检测出来,进而确定缺陷的位置(有时包括缺陷的形状、大小和深度),这就是磁力探伤基本原理。

3.2.2 渗透探伤

渗透探伤是利用带有荧光染料(荧光法)或红色燃

料(着色法)渗透剂的渗透作用,显示缺陷痕迹的无损检验法。可用于各种金属材料和非金属材料构件表面开口缺陷的质量检验。

渗透探伤的基本原理是:在被检工件表面涂覆某些渗透力较强的渗透液,在毛细作用下,渗透液被渗入到工件表面开口的缺陷中,然后去除工件表面上多余的渗透液(保留渗透到表面缺陷中的渗透液),再在工件表面上涂上一层显象剂,缺陷中的渗透液在毛细作用下重新被吸到工件的表面,从而形成缺陷的痕迹。根据在黑光(荧光渗透液)或白光(着色渗透液)下观察到的缺陷显示痕迹,作出缺陷的评定。

3.2.3 超声波探伤

脉冲反射法是超声波探伤中应用最广的方法。其基本原理是将一定频率间断发射的超声波(称脉冲波)通过一定介质(称耦合剂)的耦合传入工件,当遇到异质界面(缺陷或工件底面)时,超声波将产生反射,回波(即反射波)为仪器接收并以电脉冲信号在示波屏上显示出来,由此判断缺陷的有无,并进行定位、定量和评定。现代超声波探伤器能显现直径小于1~2mm的,甚至0.1mm的裂纹、未焊透、夹渣和其他夹杂物,因此对于不锈钢蒙皮零件焊接是适用的。

4 结束语

通过对航空不锈钢蒙皮从蒙皮成形过程到焊接过程进而到装配过程进行全过程的工艺控制及进行缺陷检测,满足了后续的装配要求。通过实施有效的检测,保证了焊缝的质量,从而保证了焊件的结构完整性。

参考文献

- [1] 邓文英. 金属工艺学(上册). 3版. 北京: 高等教育出版社, 1964.
- [2] 王敏. 激光焊接技术与航空制造. 航空制造技术, 2009(9): 48.

(责编 三丰)

(上接第128页)

- [9] Triolo A, Lin J S, Triolo R. Early and late stages of demising of a commercial Al-Li alloy. Journal of Materials Science, 2002, 37(6): 1207-1213.
- [10] 谭新伟, 曲文卿, 姚君山. 铝合金搅拌摩擦焊接头组织与性能. 中国科技论文在线, 2011, 6(2): 115-120.
- [11] 刑丽, 柯黎明, 刘鹤平, 等. 铝合金LD10的搅拌摩擦焊组织及性能分析. 焊接学报, 2002, 23(6): 25-33.
- [12] Cui G R, Ma Z Y, Li S X. Periodical plastic flow pattern in friction stir processed Al-Mg alloy. Scripta Materialia, 2008, 58(12): 1082-1085.

(责编 小城)