

中冷器用集气铝扁管高频焊接前后的成型工艺研究

吴朋越¹,高广明¹,戴跃伟²

(1. 苏州建莱机械工程技术有限公司,江苏 苏州 215400; 2. 江苏科技大学 电子信息学院,江苏 镇江 212003)

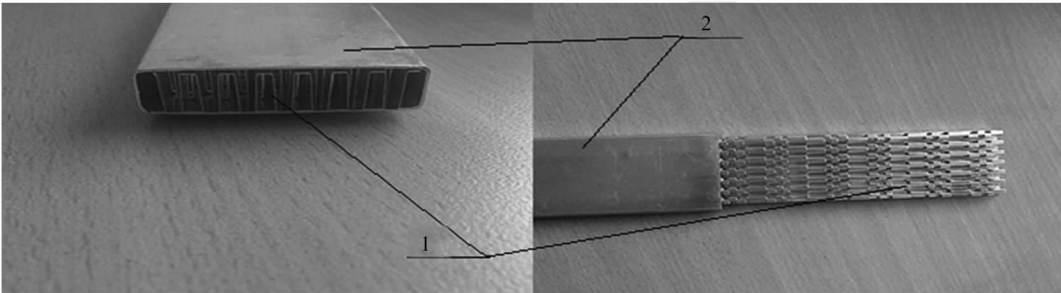
摘要:为解决现代汽车制造业对集气铝扁管生产的高速高精度要求,自主研发了一种铝合金薄带直接冷塑性成型为集气铝扁管的加工工艺,并着重研究了辊组模块化集成、基于变形区内连续成型以及辊组间速度匹配等关键技术问题。实验结果表明所设计的工艺及其加工设备合理有效,满足实际生产要求。

关键词:集气铝扁管;高频焊接;成型工艺

中图分类号:TH16 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)02-0014-06

国家机动车尾气排放标准的提高对汽车中冷器的关键组成部件集气冷却管的规格尺寸、加工工艺以及加工装备等提出了更高的要求^[1]。资料显示,以前国内外大多数中冷器制造企业采用 5~6 mm 口琴管,用铝棒热挤压管成型,料厚在 0.5 mm 以上,厚度不均、铝管极易出现砂眼,价格虽低但已不适应当前汽车冷却系统新的技术要求。目前,国内外中冷器产品,其集气管已广泛采用高频焊接铝扁管,如图 1 所示,材料厚度为 0.3~0.5 mm,具有成形质量高、加工速度快,易于装配等特点,集气管内置翅片,导流效果好,散热性能提高 15%~25%,明显优于普通热挤压铝管,代

表了当前技术发展的主流方向^[2-3]。目前国内生产铝质集气管的成型工艺及设备完全依赖进口,一套成型辊组价格高达 100 万元人民币左右,并且供货周期还需要 5 个多月。为了降低企业的生产成本、缩短新产品的开发周期,开发具有自主知识产权的铝质集气管的成型工艺及设备,实现进口替代迫在眉睫。本文在吸收国外先进成型工艺及设备技术的基础上,开发出中冷器用集气铝扁管高频焊接前后的成型工艺及设备。经过生产试用完全满足生产要求,且生产周期和成本均为国外产品的一半左右,替代了进口,经济效益和社会效益显著。



1 - 集气管内置翅片; 2 - 高频焊接集气铝扁管

图 1 采用高频焊接铝管的组装式集气冷却管

Fig. 1 Assembling gas-collecting cooling tube with high frequency welding

收稿日期:2016-03-19

基金项目:国家科技重大专项课题(2011ZX04002-051)

作者简介:吴朋越(1978—),男,山东潍坊人,高级工程师,博士,主要研究方向为机械工程及其自动化。

1 中冷器用集气铝扁管成型工艺设计

中冷器所使用的铝质集气扁管外形如图 2 所示。该图中 1 部位为对焊的两边,2 部位为靠近对焊两边的过渡圆角,3 部位是矩形管对焊边的对边,4 部位为矩形管的两个长边,5 部位为另外两个圆角,6 部位是焊缝。将铝带坯加工为矩形管的成型过程分为焊接前的成型和焊接后的精整两部分。成型段采用下山成型,有效缩短了成型段的长度;精整段采用基地恒定的成型方式,保证了成型精度。

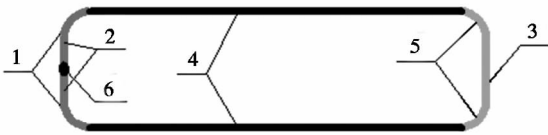


图 2 集气扁管示意图
Fig. 2 The structure of gas-collecting aluminum flat tube

1.1 典型规格铝扁管及所需带坯的宽度计算

1.1.1 矩形铝质散热管选型

以规格比较大的一种集气管作为实例,管材截面形状如图 3 所示。其中 $B=64\text{ mm}$,公差 $\pm 0.03\text{ mm}$;高度 $H=8\text{ mm}$,公差 $\pm 0.03\text{ mm}$;厚度 $t=0.45\text{ mm}$,公差 $\pm 0.05\text{ mm}$; $R_1=1.25\text{ mm}$ 。焊接管材所用材料为:4343/3003/4343 型铝合金复合材。

1.1.2 坯料宽度和变形区长度的计算

管坯长度以管材厚度的中性层长度为基准计算(后面各个变形阶段管坯的变形同样以管材壁厚度的中性层长度为基准),结果如表 1 所示。

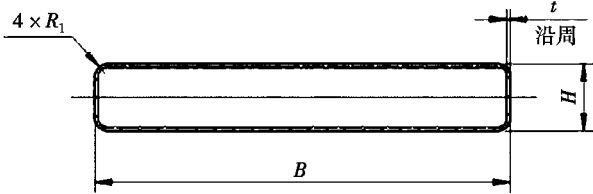


图 3 管材截面形状图
Fig. 3 The cross section shape of tube

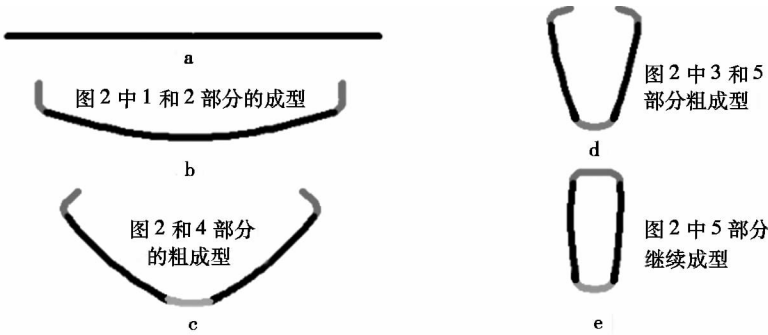
表 1 坯料宽度计算表

指标	单边	双边	备注 (考虑中层性)
矩形长度	64.0		
矩形宽度	8.0		
壁厚/	0.45		
圆角外径	1.25		
长直边	61.50	123.0	中性层位移
短直边	5.50	11.0	系数 $k=0.449$
圆角过渡	6.47	6.51	
焊接余量	0.33	0.70	
坯料宽度		141.21	
中性层距内边的距离		0.18	

1.2 焊接前的成型工艺设计

1.2.1 焊接前成型的工艺过程

焊接前的粗成型过程共分 4 个阶段,分别完成图 2 中对应部分的成型,如图 4 所示。成型过程将带材成型为管形,其 95% 以上的变形在粗成型中完成,保证了成型精度。为了进一步保证成型的精度和稳定性,各个成型道次之间须有很小的速差,在辊与辊之间带材上保持微张力,减小控制难度。



a 铝带坯横截面;b 第 1 变形阶段最终横截面;c 第 2 变形阶段最终横截面
d 第 3 变形阶段最终横截面;e 第 4 变形阶段最终横截面

图 4 管材焊接成型各个阶段最终横截面形状

Fig. 4 The final cross section shape in each stage of tube welding forming

1.2.2 各成型阶段沿壁厚中性层截面形状的变化^[4]

第 1 阶段针对矩形管对焊边部成型即图 1 中的 1 和 2 部位,成型后的管坯截面形状如图 5 所示。此阶段的成型依靠一套平辊完成,采用的是下山成型方式。该方式可以缩短变形区长度,保证前面带材导向到成型平辊所需要的长度和导向精度。为了方便成型边部的控制,除图 1 中的 1 和 2 部位以外,其它所有的边都是一条外凸的圆弧型,目的是为了便于后续成型过程中管材边部的尺寸控制。

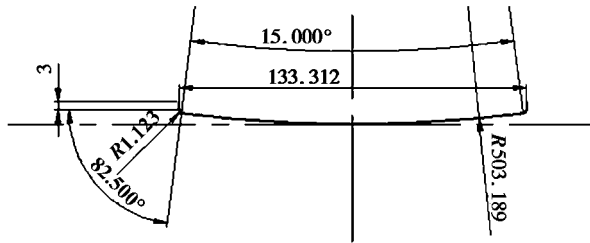


图 5 焊接前第 1 成型阶段截面形状
Fig. 5 The cross section shape in the first stage before welding

在第一阶段成型的基础上,第 2 阶段成型后的管坯截面形状如图 6 所示,此阶段主要成型图

1 中的 3 部位。为了保证成型过程中对 3 部位的边部控制,将其成型为外凸的弧形,圆弧的半径与第 1 阶段外凸的圆弧形半径相同。

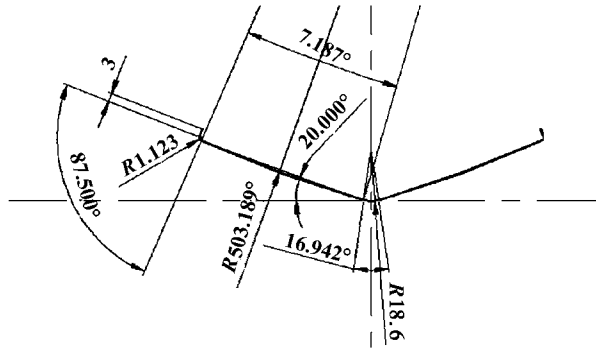
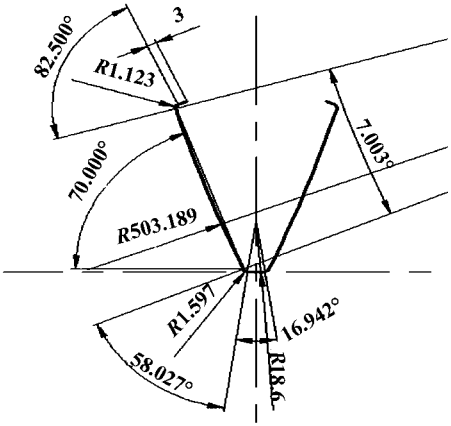
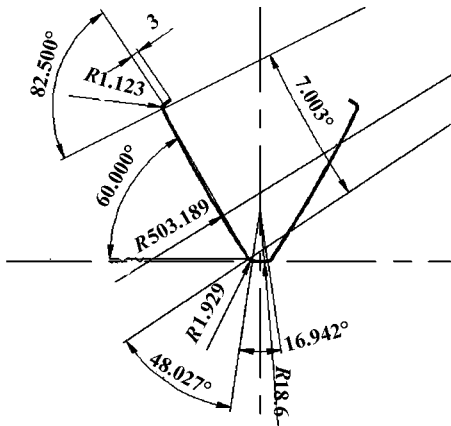


图 6 焊接前第 2 成型阶段截面形状
Fig. 6 The cross section shape in the second stage before welding

第 3 阶段成型管坯截面形状如图 7 所示。焊接前的成型过程中,90% 以上的管坯变形即管材的弯曲翘起在前 3 个阶段完成,这样设计在很大程度上减少了带材回弹的有害影响,留给第 4 阶段只有不到 10% 的变形量,有利于管材焊接边的合并与对中。



a 第 1 道次管坯形状
b 第 2 道次管坯形状
图 7 焊接前第 3 成型阶段截面形状

Fig. 7 The cross section shape in the third stage before welding

第 4 阶段将完成图 1 中 5 部位的继续成型,使焊接边贴合,完成焊接前的成型,如图 8 所示。为了保证焊接边贴合过程的有效控制,贴合前需要对成型管材焊缝处的焊接对边进行支撑,即在焊接前加装导板支撑,保证焊接边贴合过程的稳定控制。

1.3 焊接后的精整工艺设计

1.3.1 焊接后的精整工艺过程

集气管在进行高频焊接时管材温度接近铝带的熔化温度,如此高温消除了焊接成型前和成型过程中的残余应力。经过挤压辊以后,管材的形态基本属于软态,有利于后续的精整定型。因此,对焊接后的管材进行高度方向的多次挤压变形可

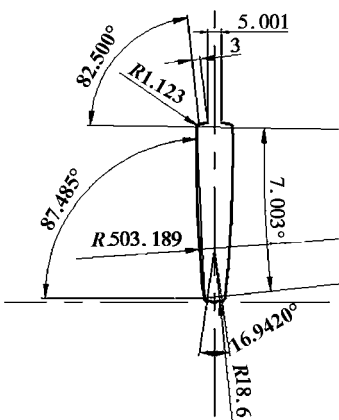


图 8 焊接前第 4 成型阶段截面形状
Fig. 8 The cross section shape in the fourth stage before welding

以实现焊接边和焊接对边由外凸变为直线段。通过两个阶段的精整分别完成图 2 中对应部分的精整,如图 9 所示,其中 a 图为第 1 精整阶段后的管

材截面,b 图为最终精整后的管材横截面。精整阶段完成总变形量 5% 以内的成型,实现管材的精整定型。工作时,相邻辊之间有一定速差,保证辊与辊带材之间的微张力,减小了控制难度。

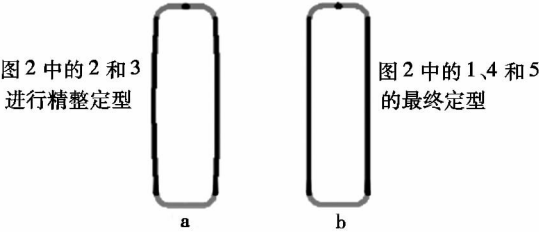


图 9 管材焊接后精整定型过程中截面的变化
Fig. 9 The cross section change in the finishing forming process after tube welding

1.3.2 各成型阶段沿壁厚中性层的截面形状变化
第 1 阶段针对图 1 中的 2 和 3 部位所示的焊接边和其对边进行精整定型,将外凸形设计精整为直边,如图 10 所示。

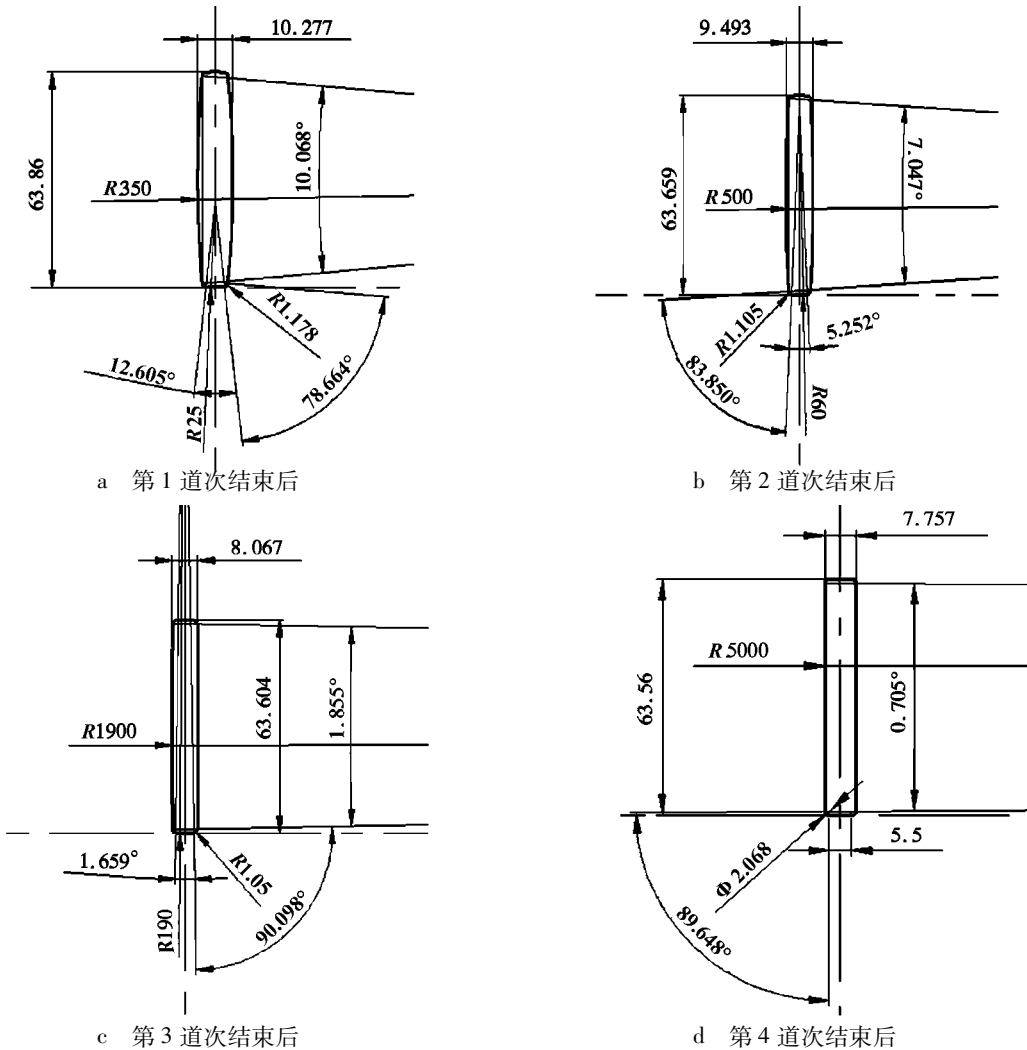


图 10 第 1 精整定型阶段各道次结束后管坯的截面图
Fig. 10 The cross section of tube blank after each step in the first finishing forming stage

精成型第 2 阶段逐渐增加图 1 中 4 部位的圆弧直径并减小 1、5 部位的圆弧直径来实现这些部

位的最终定型。各个变形道次的最终截面形状如图 11 所示。

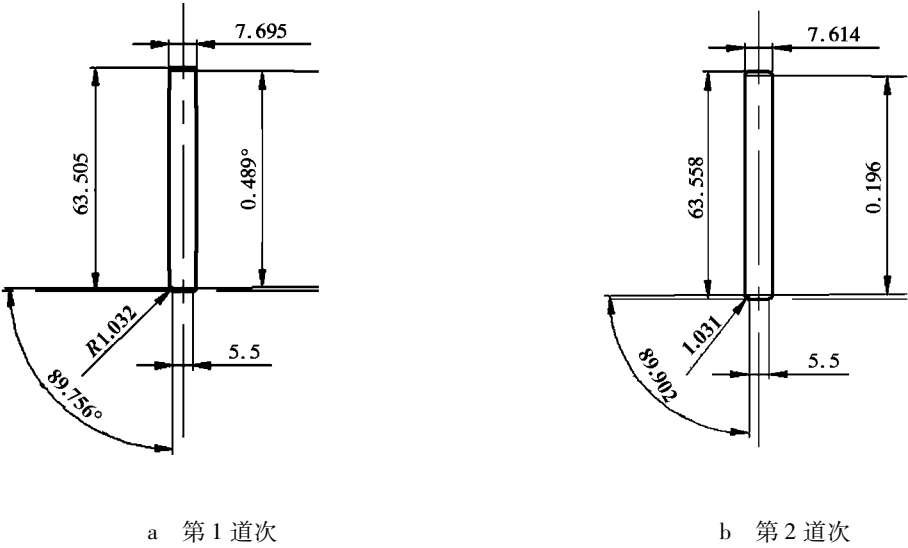


图 11 第 2 精整定型阶段各道次结束后管坯的截面图

Fig. 11 The cross section of tube blank after each step in the second finishing forming stage

2 实验研究

通过前面的成型工艺分析计算,得出需要包括 12 组上下平辊和 1 组立辊的成型机组。为了适应准柔性制造,以及换辊方便、模块化管理的需

要,每相邻 2 组平辊设计为共用一个模架,12 组上下平辊共分 6 组,1 组立辊为单独布置。图 12 所示为焊接前成型辊和焊接后精整辊实物图,经过试验研究生产出规格为 64 mm × 8 mm 的合格集气铝扁管^[5],如图 13 所示。

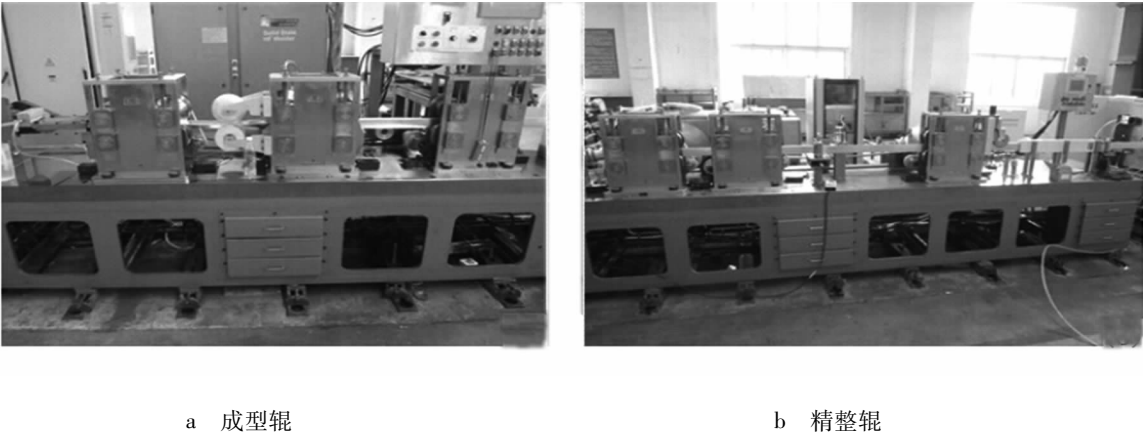


图 12 焊接前成型辊和焊接后精整辊实物图

Fig. 12 Photos of forming roller before welding and finishing roller after welding

3 小结

本文研究了铝合金薄带直接冷塑性成型为集气铝扁管的加工工艺,采用下山式成型与底线恒定式精整相结合的方式完成集气铝扁管的焊前粗

成型和焊后精整,在变形均匀的同时,缩短了变形区长度,减少了加工道次,满足了集气铝扁管高速高精度生产的要求。通过实验研究生产出了合格的产品,验证了所提加工工艺的可行性和有效性。

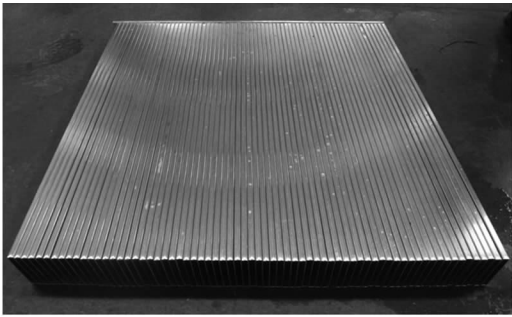


图 13 64 mm×8 mm 成品集气铝扁管

Fig. 13 64 mm×8 mm gas-collecting aluminum flat tube production

参考文献:

[1] 陈伟,闫丽静,刘方方,等. 汽车散热片的冷挤压成形数值模拟研究[J]. 热加工工艺,2016(5):160-162.
[2] 郑晖,赵曦雅. 汽车轻量化及铝合金在现代汽车生产中的应用[J]. 锻压技术,2016,41(2):1-6.
[3] 杨合,孙志超,詹梅,等. 局部加载控制不均匀变形与精确塑性成形研究进展[J]. 塑性工程学报,2008,15(2):6-14.
[4] 周飞,苏丹,彭颖红,等. 金属塑性成形有限体积数值模拟[J]. 模具技术,2002(3):3-5.
[5] 周兴华,王玉春,周建和. 汽车散热器的一种新型试验方法[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),2012,35(4):535-540.

The Forming Technique for Gas-collecting Aluminum Flat Tube with High Frequency Welding in Intercooler

WU Pengyue¹, GAO Guangming¹, DAI Yuewei²

(1. Suzhou Jianlai Machinery Engineering Technology Co., Ltd., Suzhou Jiangsu 215400, China;
2. School of Electronic & Information, Jiangsu University of Science & Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract: In order to meet the demands of high – speed and high – precision production for aluminum flat tube in modern automobile manufacture industry, a direct cold plastic forming technique of gas – collecting aluminum flat tube from aluminum strips is proposed, specifically, the problems including the modular integration of rollers, continuous forming in the deformation zone and speed match between different rollers are emphatically studied. Experimental results prove that the designed process technique and equipment are reasonable and efficient, and can fulfill the requirements of practical production as well.

Keywords: Aluminum Flat Tube; High Frequency Welding; Forming Process

(责任编辑:张英健)