

文章编号:1673-9981(2011)03-0186-05

# 国内铝型材在线淬火技术与装备的研究现状

周楠, 戚文军, 蔡畅

广东省工业技术研究院(广州有色金属研究院), 广东 广州 510650

**摘要:**阐述了铝合金的淬火敏感性和在线淬火工艺参数对铝合金性能的影响,以及国内铝型材在线淬火装备的研究现状,并指出在线淬火技术与装备今后的发展方向。

**关键词:**铝型材;在线淬火;工艺参数;装备

中图分类号: TG166.3

文献标识码: A

铝合金型材在汽车、轨道交通、航空航天、船舶及国防军工等领域中得到广泛地应用<sup>[1-3]</sup>。近年来,随着国民经济的飞速发展,对高精度、高表面质量、高机械性能的铝型材,特别是一些形状复杂的型材和大截面空心型材的需求量越来越大。淬火处理是铝型材加工过程中重要的工序,传统的铝型材淬火工艺是采用离线淬火炉来实现淬火处理,这种工艺有能耗高及生产周期长等缺点,而在在线淬火技术,即挤压后直接水冷淬火,其充分利用了挤压产生的余热,有降低能耗、缩短工艺流程及提高生产效率等优点。但国内多数铝型材生产厂家没有专用的在线淬火冷却设备。因此,消化和吸收国外先进的在线淬火技术,实现在线淬火,已成为许多工程技术人员研究的重要课题<sup>[4]</sup>。本文对铝合金的淬火敏感性和在线淬火工艺参数对铝合金在线淬火性能的影响,以及国内铝型材在线淬火装备的研究现状进行了综述。

## 1 铝合金型材在线淬火技术的研究现状

### 1.1 铝合金的淬火敏感性

要实现铝型材在线淬火,就必须了解和掌握铝合金在线淬火的特性,即淬火敏感性。材料的淬火敏感性是指对淬火冷却速度的反应性<sup>[5]</sup>。如果一种合金材料的淬火敏感性低,即表示采用低的淬火冷却

速度便可有效地阻止合金元素从固溶体中分解析出,形成过饱和固溶体。铝合金的淬火敏感性可用等温转变动力学曲线(TTT)和连续冷却转变动力学曲线(CCT)表征,TTT曲线和CCT曲线可给出一定工艺条件下的相转变点和转变产物,是研究固态相变及制定热处理加工工艺的基础,是材料研究人员预测和控制合金组织性能的依据<sup>[6-7]</sup>。

当前,我国铝型材生产企业在热处理方面的研究绝大部分停留在借用和摸索的阶段,还没有形成一套完整的工艺体系,缺乏基础性研究,如很多企业在生产铝合金挤压型材时,通常是采用在线风冷式淬火。对于淬火敏感性低、壁厚均匀、结构简单的6063和6060合金材料,采用风冷式淬火基本上能满足生产的需求,而对于淬火敏感性高、壁较厚、非对称复杂断面的型材,采用简单的风冷式淬火,往往造成淬火不充分及出现淬火后变形等问题。由于冷却只能采用单一的冷却方式,材料的力学性能往往只是满足国家标准要求中的最低要求,其潜力得不到充分发挥。同时也无法根据材料的不同状态,采用不同的冷却强度来进行合理的在线淬火处理。虽然有时材料的力学性能达到了用户的要求,但是材料的抗腐蚀等其它性能却因淬火不充分而达不到要求。

### 1.2 在线淬火工艺参数对铝型材性能的影响

除了材料本身的性能外,在线淬火工艺参数对

铝型材性能也有显著的影响,其中主要包括冷却方式、冷却速度及淬火延迟时间等<sup>[8]7-11</sup>。研究在线淬火工艺参数对型材性能的影响,对评价该合金是否适合给定的淬火冷却装置,以及制定合理的工艺参数具有重要的意义。

挤压在线淬火的冷却方式主要有水冷、风冷和雾冷,其中水冷的冷却强度较其它两种冷却方式的冷却强度更大。对淬火敏感性较高的合金,如其型材较厚,为了获得满意的强度,需采用水淬,在水淬过程中可能会形成蒸气薄层,造成型材局部的冷却速度降低,从而导致制品扭曲,这种情况在静止水槽淬火的条件下最容易出现。因此,最好采用涌流水来冷却型材<sup>[8]12</sup>。即使如此,当挤压速度较高或型材各部位厚度差较大时,由于沿制品断面的冷却速度不均,水淬过程中也可能产生变形扭曲,扭曲变形在高温区表现得最为敏感。由于上述原因,因而提出了渐进式淬火工艺。该工艺是在淬火装置的长度方向上设置几个不同的控制区段,当型材进入淬火区时,初期

采用相对缓慢的冷却速度,而当型材温度有所下降时,采用较高以至更高的冷却速度,还可通过对型材不同壁厚的部位进行冷却量调整,使得型材各部位的冷却速度更加均匀<sup>[8]13</sup>。这种渐进式淬火工艺,基本上可以解决快速冷却与扭曲之间的矛盾。

挤压后采用缓慢的淬火冷却速度,会对某些Al-Mg-Si系合金的韧性产生不利的影响。如6060铝合金,当冷却速度从4.5 °C/s变化到200 °C/s时,可使6060铝合金的断裂形式从90%沿晶断裂变为90%穿晶断裂,同时V型缺口冲击韧性值相应地从18 J/cm<sup>2</sup>提高到27 J/cm<sup>2</sup>,这种脆性行为是由于挤压成型温度下缓慢冷却,产生晶界区剥蚀所致<sup>[8]14</sup>。快速冷却也会导致Al-Zn-Mg系合金的应力腐蚀破裂,如Al-4.8Zn-1.2Mg合金和Al-5.35Zn-1.25Mg合金的最大淬火速度均为5 °C/s,这个淬火速度明显低于7004铝合金所推荐使用的最大淬火速度20 °C/s。6系铝合金的淬火冷却速度及冷却方式列于表1<sup>[8]14-15</sup>。

表1 6系铝合金淬火冷却速度及冷却方式

Table 1 Cooling rate and cooling mode of 6xxx series aluminum alloys

合金类型	冷却速度/(°C·min <sup>-1</sup> )	冷却方式	
		型材厚度小于10 mm	型材厚度大于10 mm
6060	50	风冷	雾冷
6063和6463	60	风冷	雾冷
6061	250	风冷	水冷
6351和6082	250	风冷	水冷

要成功地实现挤压在线淬火,型材从模具出口至淬火区的转移时间也很重要。事实上临界转移时间不是一个常数,除合金性质外,它还与制品断面厚度及形状有关,制品的比表面积越大,或厚度越薄,所要求的临界转移时间越短。

沈健等人<sup>[9]</sup>利用正交模拟试验,研究了在线淬火方式、淬火冷却速度及淬火延迟时间对6005A铝合金空心型材组织和性能的影响。结果表明:提高在线淬火冷却强度,比提高挤压温度和挤压速度对改善型材力学性能的效果更明显,型材的强度随淬火冷却速度的增大明显提高,而延伸率并无明显降低;在线水雾淬火可使型材的力学性能满足车辆型材使用的要求;缩短在线淬火前型材在室温环境下的停留时间,可以显著提高型材的强度。

王志伟等人<sup>[10]</sup>采用在线挤压淬火正交实验并通过透射电镜分析,研究了挤压温度、挤压速度及淬火方式对地铁列车车体用6005A铝合金力学性能的影响。结果表明:淬火方式对合金力学性能的影响最大,水淬可改善合金的力学性能;提高挤压温度和挤压速度,也可在一定程度上改善合金的力学性能。透射电镜分析结果表明,在线挤压淬火工艺对合金力学性能的影响,实质上与 $\beta'$ 强化相的数量、大小和分布密切相关。

## 2 国内在线淬火装备的研究现状

国外型材生产企业主要以生产工业型材为主,普遍采用水—风联合淬火装置,对于淬火敏感性高

的型材,该类装置能提供足够的冷却强度,从而使型材具有所需的微观组织与力学性能,同时又不发生变形。该类装置一般分为三个冷却区域:第一区域为联合冷却区,可选择采用水冷、风冷以及雾冷;第二、三区域均为单独的风冷区,只是风冷区域设计的长度不同。

国内铝型材企业主要以生产建筑型材为主,工业型材所占的比重较少,由于建筑型材一般截面尺寸较小,在进行在线淬火时只需风冷即可实现冷却。因此,国内大多数铝型材企业只是采用在型材出口处安装风机的方法,对型材进行风冷淬火。而对于截面尺寸较大的复杂型材,则采取安装水槽的方法进行水冷,虽然通过水槽进行水冷能快速降低铝型材的温度,但是由于型材的截面形状并不规则及型材各部位厚度相差较大,容易造成型材冷却速度不均,导致型材内部应力分布不均,型材出现扭曲变形,这种变形在以后的矫直中很难消除,即使矫直清除了变形,制品的壁厚也很难达到要求。

近几年,随着我国铝型材的产品结构从建筑型材逐渐向工业型材转型,很多铝型材企业纷纷转而生产大型复杂截面型材,而现有的在线淬火设备无法满足复杂断面型材在线淬火的工艺需求。因此,吸收和消化国外先进的在线淬火技术及装备、自主研发多区段智能控制的在线淬火冷却设备、大幅度提高挤压铝型材的综合性能和快速挤压型材的精度以及生产效率,成为很多铝型材企业的重要任务。目前,国内已有多家企业通过消化、吸收国外先进的在线淬火冷却装备,自主设计制造了在线淬火装置。

太原重型机械(集团)有限公司设计研究院,为吉林辽源铝型材厂生产的75MN型挤压机配置了在线淬火装置。该水冷装置由上水盖、下水槽和水源三大部分组成(图1)<sup>[11]</sup>。该装置对各个喷淋点的水量进行了控制。首先根据制品的大小,用变频器调整水泵电机转速,确定上下两台水泵的流量,使它基本上满足制品的水冷淬火所需水量要求。其次根据型材各部分的厚度差异,在臂路中分别装有一个流量传感器和一个比例流量控制阀,传感器能随时测量出管路中的水流量,并将此信号传递给过程控制器,从而控制水阀的开度,做到对水流量的控制。该装置与PLC和上位机联接,可记录和存储淬火数据,为优化淬火工艺和方法提供可靠的依据。

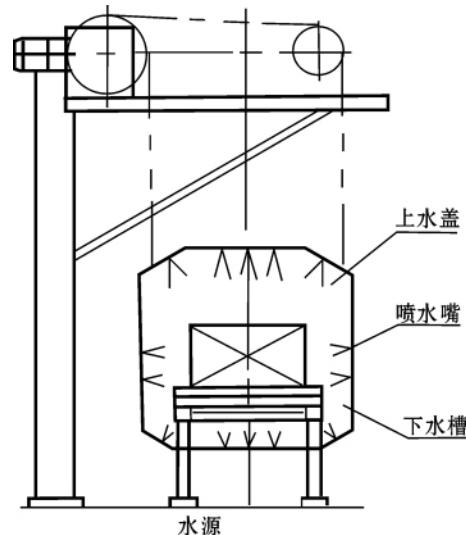


图1 辽源铝型材厂在线淬火装置结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of on-line quenching equipment in Liaoyuan Aluminum Profile Factory

王朝水等人<sup>[12]</sup>介绍了巨化公司铝厂的水槽式在线水淬装置,其主要由水泵站和淬火水槽两部分组成(图2)。淬火水槽由水槽、进水装置和四台鼓风机组组成,水槽采用钢板焊接而成,靠近两端300 mm处分别设两道装石墨板的滑槽,在滑槽内插入石墨板,石墨板上开凿与制品断面相似的型孔。两道石墨板将水槽分隔成三间盒式箱体,中间为水淬槽,两端为排水槽,当启动水淬装置的水泵,冷却水很快注满水淬槽将制品完全淹没,多余的水通过型孔与制品间隙或从石墨板上方溢流进入排水槽,这样淬火冷却水不断补充进入水淬槽,淬火后的热水又不断排出进入排水槽,并通过回水管进入水箱,从而得到循环使用。为避免冷却水通过运动的挤压制品或溢流飞溅带出淬火水槽,在挤压制品于水槽进出口两端上、下方各设两台鼓风机,将水吹回到排水槽,以改善现场工作环境。对于大截面制品而言,采用水槽式水淬装置,冷却强度高,完全能够满足合金对冷却强度的要求。

籍淑珍<sup>[13]</sup>介绍了东北轻合金有限责任公司的铝合金挤压型材在线淬火设备(图3)。该设备可实现大规格、几何形状复杂的铝型材挤压在线淬火。喷水系统由上下两部分组成,下部为积水箱,用于收集喷出的水,内装侧喷水管及下喷水管,上部由油缸驱动可升降的罩式水盖,水罩内装有喷水管,当水盖下降到位后与下部结合成一个封闭水洞。在喷水系统

的挤压型材出口处,装有一台涡流风机,从顶部直吹型材,防止型材将水带出。

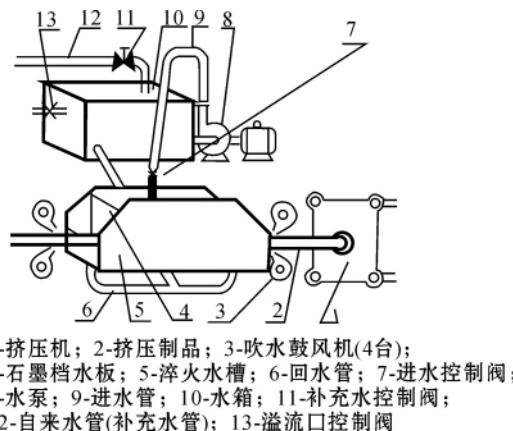


图2 水槽式水淬装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of flume quenching equipment

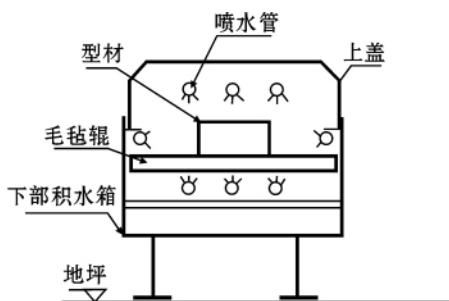


图3 喷水系统断面图

Fig. 3 Sectional diagram of sprinkler system

此外,广东兴发集团有限公司、丛林铝业公司、福建闽发集团等企业均为部分大型挤压机配备了在线淬火装置,并对铝合金在线淬火技术进行了探索<sup>[14-19]</sup>。

### 3 结语

(1)铝合金型材在线淬火技术是一种节能高效的铝型材生产技术,其可简化工艺流程、提高生产效率、缩短生产周期及降低生产成本。然而,当前我国绝大部分铝型材生产企业在热处理技术方面仍停留在借用和摸索的阶段,没有形成一套完整的工艺体系,存在的主要问题是基础性研究缺乏。

(2)在合金方面,6063,6061,6082,6005,7003和7005等合金是目前我国产量较大、应用较广的可

实现在线淬火的铝合金,对这几种合金进行淬火敏感性研究,建立合金的TTT和CCT曲线,研究工艺参数的变化对不同合金淬火敏感性的影响,制定出保证淬透性的工艺规范参数,为铝型材在线淬火冷却参数的制定和设备的设计提供理论依据。

(3)在淬火装备方面,可实现多区段、多种冷却方式相结合,具有智能控制系统的铝合金型材在线淬火装备,将是今后在线淬火装备的发展方向。

### 参考文献:

- [1] 刘静安. 6005A铝合金大型特种型材的研制[J]. 轻合金加工技术,2004,32(4):36-41.
- [2] 苏鸿英. 飞机、轨道车辆和船舶的用铝趋势[J]. 世界有色金属,2010 (4):69.
- [3] 刘静安,盛春磊,王文琴. 铝合金锻压生产技术及锻件的应用开发[J]. 轻合金加工技术,2010,38(1):13-18.
- [4] 梁世斌. 工业铝合金挤压制品的在线淬火[J]. 轻合金加工技术,2006,34(6):32-34.
- [5] 刘胜胆,张新明,黄振宝,等. 7055铝合金的淬火敏感性研究[J]. 中南大学学报:自然科学版,2006,37(5):846-849.
- [6] DAVYDOV V G, BER L B, KAPUTKIN E Y, et al. TTP and TTT diagrams for quench sensitivity and aging of 1424 alloy [J]. Materials Science and Engineering,2000,A280:76-82.
- [7] 李红英,王晓峰,唐宜,等. 7A04铝合金连续冷却转变曲线的测定[J]. 中国有色金属学报,2010, 20 (4): 640-646.
- [8] 刘静安,盛春磊,王文琴. 铝合金挤压在线淬火技术[J]. 轻合金加工技术,2010,38(2):7-15.
- [9] 沈健,李彦利,朱鸣峰. 在线淬火工艺对6005A合金挤压型材组织与性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2003,13(6):1461-1466.
- [10] 王志伟,汪明朴,王正安,等. 在线挤压淬火对地铁列车用6005A合金力学性能及微观组织的影响[J]. 中国有色金属学报,2001,11(4):603-606.
- [11] 李群霞,李国栋,高晓俊. 大型铝挤压机的在线淬火装置[J]. 重工科技,2000 (2):7-10.
- [12] 王朝水,王金亮. 挤压生产用在线水淬装置[J]. 轻合金加工技术,1998,26(11):27-30.
- [13] 管淑珍. 铝合金型材在线水冷淬火设备[J]. 轻合金加工技术,2008,36(6):26-27
- [14] 石志余. 工业铝型材在线淬火工艺实践[J]. 冶金丛刊,2010,185(1):43-45
- [15] 黄志其,陈慧,刘志铭,等. 7129-T5合金的生产工艺研

(下转第217页)

## Study on an on-line quenching equipment for aluminum profile

CAI Chang, QI Wenjun, ZHOU Nan, LI Lin, NONG Deng

Guangdong Research Institute of Industry Technology (Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals),  
Guangzhou 510650, China

**Abstract:** Considering the singleness of the quenching method of the on-line quenching equipment for aluminum profile and the difficulty in optimizing the parameters for quenching, an on-line quenching control system is designed based on the combination of upper devices and lower devices by optimizing the mechanical structure of the quenching equipment. Hardening parameters are optimized in the upper device. Taking advantage of the lower control system and the mechanical structure of this equipment, the on-line quenching equipment can realize multi-quenching of wind cooling, flog cooling and water cooling, which are adjustable in separation section. Finally, the production efficiency of the equipment is improved.

**Key words:** aluminum profile; on-line quenching; control system

(上接第189页)

- 究[J]. 铝加工, 2008, 180(1): 25-26.
- [16] 吴锡坤, 梁奕清. 7075 铝合金型材在线淬火方法: 中国, CN1807004A[P]. 2006-07-26.
- [17] 张培良, 张培栋, 苏振佳. 一种用于铝型材挤压生产线的风水联合淬火设备: 中国, CN2590682Y[P]. 2003-12-10.
- [18] 梁世斌, 刘坚. 在线保温淬火装置和淬火工艺: 中国, CN101029378A[P]. 2007-09-05.
- [19] 张培良, 苏振佳, 杨军祖, 等. 固溶热处理用在线淬火装置: 中国, CN101275210A[P]. 2008-10-01.

## Research status of on-line quenching technology and equipment of aluminum alloy profiles in China

ZHOU Nan, QI Wenjun, CAI Chang

Guangdong General Research Institute of Industrial Technology (Guangzhou Research Institute of Non-Ferrous Metals), Guangzhou 510650, China

**Abstract:** The effects of quench sensitivity and on-line quenching parameters on the properties of aluminum alloys and the research status of domestic on-line quenching technology and equipment of aluminum alloy profile are reviewed. The development trend of on-line quenching technology and equipment is also introduced.

**Key words:** aluminum alloy profile; on-line quenching; quenching process; equipment