

摘要 铝合金作为制造轻量化车体的最重要的结构材料正在得到广泛的应用,几乎占据了 200 km/h 以上速度动车组的全部分额。在工业发达国家,轨道交通的用铝量占总消费的 15%左右。简述了国内外铝合金车辆及用于制造铝合金车体的铝合金材料的发展情况,以及当前国内铝合金车体及所用铝合金材料技术发展所遇到的问题。分析了建立轨道交通行业铝合金材料知识库的必要性和可行性。及时建立铝合金材料的知识库,不仅为高速动车组和客车铝合金车体提供帮助,也有助于推动形成铝合金车体设计制造技术的知识产权。提出了铝合金材料知识库的主要内容和建立知识库的主要途径与方法。

关键词 轨道交通车辆;车体材料;铝合金;知识库

0 概述

铝合金以其密度小、强度高、具有易于加工成型和良好的耐腐蚀性,并因其涂装性能、容易进行表面防护处理等优异的物理、机械性能和加工性能,已经成为了动车组和铁路客车最重要的车体制造材料;广泛应用于包括动车组、铁路客车和地铁车辆在的现代轨道交通车辆的铝合金车体制造,在减轻车体重量、降低能耗方面取得了巨大成效,同时也为简化制造技术、提高生产效率带来了巨大效益。

随着 200 km/h 以上速度级动车组的推广应用,以及由机车车辆组成的旅客列车的进一步提速,势必还会有更多的铝合金车体应用于动车组和铁路客车的制造,铝合金材料的应用也将会有更大的普及。然而,现阶段国内对于制造铝合金车体的铝合金材料的研究还缺乏科学性、系统性和完整性,还需要进一步开展深入研究;也很有必要运用现代系统工程思路和多任务软件运行技术,结合运用数据库技术、专家系统思想、系统理论以及模糊数学等研究成果,开发和建立专门用于轨道交通车辆制造业的铝合金知识库。提供一种单入口、多分叉、功能式的材料标准和规范,机械物理性能、加工工艺、热处理,以及疲劳、损伤、维护、寿命估测计算的数据库,可为现代轨道交通车辆的设计、制造、检修维护等提供现代化的、全面的材料知识参考工具。

1 国外铝合金车辆与铝合金材料的发展

国外从 1952 年开始制造铝合金车辆,至 20 世纪 70~80 年代,首次将铝合金车体应用于高速动车组;到了 20 世纪 90 年代,铝合金车体在高速动车组中得到了广泛应用。日本的 300 系、500 系、700 系、E1 系、E2 系、E3 系、E4 系等新干线高速动车组,以及德国的 ICE1、ICE2、ICE3、ICT(ICE-T)和 ICE-TD 等高速动车组,意大利的 ETR401、ETR450、ETR460、ETR470、ETR480、ETR500 等高速动车组和法国 TGV 双层高速动车组均采用了铝合金车体。近年来,铝合金车体在高速动车组中又进一步得到了应用(见表 1)。



表 1 国外铝合金车体动车组一览表

	车型	最高速度/(km/h)	车体型式	开发年代
日本 新干线 系列	200 系	240	铝合金车体	1980
	300 系	270	铝合金车体	1989
	500 系	300	铝合金车体	1995
	700 系	270	铝合金车体	1997
	800 系	260	铝合金车体	2003
	N700 系	340	铝合金车体	2006
	E1 系	275	铝合金车体	1994
	E2 系	275	铝合金车体	1996
	E3 系	275	铝合金车体	1995
	E4 系	275	铝合金车体	1997
	ICE1	250	铝合金车体	1990
德国 ICE 系列	ICE2	250~ 280	铝合金车体	1995
	ICE3	330	铝合金车体	1997
	ICT	230	铝合金车体	1999
	ICE-TD	230	铝合金车体	1999
法国	Velaro E	350	铝合金车体	2001 ¹⁾
	TGV-D	300	铝合金车体	1996
意大利 ETR 系列	ETR401	200	铝合金车体	1976
	ETR450	200	铝合金车体	1988
	ETR460	250	铝合金车体	1993
	ETR470	200	铝合金车体	1995
	ETR480	250	铝合金车体	1995
	SM 3(S220)	220	铝合金车体	1995
	ETR500	300	铝合金车体	1993

¹⁾ Velaro E 为 2004 年制造

国外针对铝合金车体制造及所应用的铝合金材料也进行了全面、深入细致的研究,建立了相关的设计方法、制造工艺方法和手段、检验与验收的方法与规程,形成了相关的标准、规范和技术文件。其中包括通用性技术标准与规范、行业标准与技术规范以及企业技术标准与规范(见表 2)。对于制造铝合金车体型材的使用也趋于稳定和成熟,呈现出了明显的规律。CRH 系列动车组的原型车在某种程度上即可反映出这些规律(见表 3)。



表2 部分国外铝合金车体制造应用标准

标准代号	标准名称	标准等级
EN485-1-1995	铝和铝合金-带、薄板和板-第1部分-供货技术条件	欧洲工业标准
EN485-2-2004	铝和铝合金-带、薄板和板-第2部分-机械性能	欧洲工业标准
EN485-3-2004	铝和铝合金-带、薄板和板-第3部分-热轧产品的形状和尺寸公差	欧洲工业标准
EN485-4-2004	铝和铝合金-带、薄板和板-第4部分-冷轧产品的形状和尺寸公差	欧洲工业标准
EN515-1993	铝和铝合金-锻造产品的回火规定	欧洲工业标准
EN573-1-1994	铝及铝合金-化学成分和半成品的形状-第1部分-用数字表示的标记体系	欧洲工业标准
EN573-2-1994	铝及铝合金-化学成分和半成品的形状-第2部分-带化学符号的标记体系	欧洲工业标准
EN573-3-2003	铝及铝合金-化学成分和半成品的形状-第3部分-化学成份	欧洲工业标准
EN755-1-1997	铝和铝合金-挤压的棒材、管材和型材-第1部分-检查和交货技术条件	欧洲工业标准
EN755-2-1997	铝和铝合金-挤压的棒材、管材和型材-第2部分-机械性能	欧洲工业标准
EN755-9-2001	铝和铝合金-挤压的棒材、管材和型材第9部分-型材,形状公差和尺寸公差	欧洲工业标准
EN1706-1998	铝和铝合金-铸件-化学成份和机械性能	欧洲工业标准
DIN5513-1989	铁道车辆材料-铝和铝合金	德国工业标准
DIN6700-2-2001	铁道车辆及零部件的焊接(第2部分)	德国工业标准
DIN6700-3-2003	铁道车辆及零部件的焊接(第3部分)	德国工业标准
DIN6700-5-2003	铁道车辆及零部件的焊接-第5部分:质量要求	德国工业标准

其中,如头车底架前端及底架牵枕梁等承受载荷较大的部位以6082-T6或7N01等牌号的高强度铝合金型材、板材为主制造,底架边梁及地板、侧墙、车顶、端墙等部位则以6005A、6008、6N01等牌号的型材为主制造。

表3 CRH系列动车组使用铝合金材料的情况

材料	CRH5	CRH3	CRH2
型材牌号	6005A-T6	6005A-T6	7N01-P-T4
	6082-T6	6008-T4	7N01-S-T5
	6016-T6	6008-T6	6N01S-T5
		6082-T6	
板材牌号	5083-H111	5083-H111	
	5754-H22	5083-H321	5083-P-O
	6082-T6	6082-T6	

2 国内铝合金车体与铝合金材料的发展

国内于“八五”期间开始尝试设计制造铝合金车体,并于本世纪初先后制造出了“中华之星”动车组拖车和“长白山号”动车组的铝合金车体,初步掌握了铝合金车体的设计制造技术。随后,又通过批量制造200 km/h以上速度动车组的铝合金车体,进一步掌握了铝合金车体制造技术。相应的铝合金型材与材料技术也取得了长足的进步,逐步趋于成熟。但是,铝合金车体及铝合金材料的设计、制造标准仍然以参照国外标准为主,尚未形成自己的标准。

3 当前国内铝合金车体和铝合金材料技术发展面临的问题

早在“八五”期间,我国就开始研制铝合金车体,比起日本和欧洲的发达国家在现代铁道车辆制造业中批量推广应用铝合金车体和铝合金材料技术的时间相差得并不是很多,但从铝合金整体现状来看,面临着许多问题:

(1)由于我国铝合金产业本身发展的不平衡,面向交通运输领域的材料研发远远落后于工业发达国家,相关的材料标准老化,品种稀少,加工工艺标准也较混乱。

(2)由于我国早期的铝合金车体技术开发主要是以分散的企业行为为主,而单独的企业又难以牵动全行业和铝合金材料制造业的整体力量,只能采取以借鉴国外成熟经验和技術为主的方式开发铝合金车体,以便在资金不足的情况下,在较短的周期内开发研制铝合金车体。由此,造成了来自不同技术源头的材料和加工技术标准 and 规范的多样化,没有能够形成自己独立、完整的技术体系。



(3)不同技术源头的标准和规范并存于国内的铝合金车体与铝合金材料制造业中,制约了国内铝合金车体制造和铝合金材料行业的进步与发展。因为在铝合金车体设计制造中,常常遇到不同国家的不同标准以及不同合金牌号的状态(热处理)、性能指标体系和性能参数、加工规范、焊接规范、后处理等工程信息的交叉、差异和歧义,特别是涉及到焊接结构的选材、处理以及相关工装设备的配置时,令人难以适应。

4 建立轨道交通行业铝合金材料知识库的必要性与可行性

4.1 进一步发展国内铝合金车体制造技术的需要和重要环节

当前,在国产CRH系列200 km/h以上速度动车组中,除CRH1动车组采用不锈钢车体之外,CRH2、CRH3、CRH5等高速动车组全部采用铝合金车体。然而这些铝合金车体所用的铝合金型材材料既有参照日本牌号生产的,也有参照欧洲牌号生产的,而且不同系列牌号的铝合金材料或多或少是有些差异的。如果不尽快统一相关的铝合金材料牌号与标准,势必影响国产200 km/h以上速度动车组铝合金车体制造技术的进一步发展。

在西方和日本等工业技术发达国家,企业级专业知识库已经成为继20世纪70年代企业“数据库”、80年代“专家系统”以来工程师最得力的电子助手。在一些行业中,知识库系统可以依据用户对材料选择、载荷和寿命要求,自动给出相关的性能参数和制造工艺参考技术规范,大大提高了设计效率和水平;同时,保证了设计、制造、维护、报废、替换等环节在设计之初就有明确的产品生产过程、成本核算、售后技术服务等全程性、整体性概念,使得质量管理的切实贯彻执行从源头上得到有力保障。

类似知识库这样的当代最先进的高知识含量、高技术水准的工业技术工具,是发达国家工业技术数十年领先新成果、新产品层出不穷的核心秘密之一。因此,在轨道交通装备制造领域,急需建立一套具有明显的行业特征的铝合金材料基本技术参数、使用性能知识库,以减小和消除选材、设计中的失误,提高效率,从源头上提高我国轨道交通运输装备制造水平。

4.2 国内铝合金车体技术的发展目标

国产200 km/h以上速度动车组的下一步发展目标,是要开展自主创新,形成自主知识产权。其中的一个重要目标就是要在铝合金车体技术方面形成具有我国特色的技术体系和自主知识产权。为此,就必须要结合我国的国情、根据国内动车组制造企业和铝合金型材与材料生产企业的实际现状和能力,制定适合我国轨道交通行业的铝合金车体及铝合金型材与材料的国家标准、行业标准和企业标准,统一和规范国内相关企业的生产行为,保障国内铝合金车体技术和铝合金车辆制造业的可持续发展。

4.3 面临着国内铝合金车体技术发展的关键时期

许多行业的发展经验都证明,标准建立的时机非常重要。如果在技术还不够成熟的时候过早地制定标准,会使已经陈旧了的标准限制产品技术的发展;反之,若标准制定的太晚,也会使技术的发展无章可循,造成产品与技术的互不兼容,同样会影响技术的发展。当前,国内铝合金车体技术的发展正处于一个非常特殊的发展时期:国内前期已经在铝合金车体开发方面开展了大量的工作,打下了一定的基础,但未能达到建立标准的成熟程度;经过200km/h以上速度动车组的批量生产,国内已经掌握了成熟的铝合金车体设计制造技术;不同源头的技术标准已经交织在一起,共同发挥着作用。在这样一个关键的发展时期,最需要及时合理地汇总与整理铝合金材料专家知识库,以便推动铝合金车体及型材材料标准的制定,促进国内铝合金车体技术的发展,最终形成自主知识产权。

5 铝合金材料知识库的主要内容和建立的途径

5.1 铝合金材料知识库的主要内容

铝合金材料知识库将包括材料基础知识部分和专家系统部分。

铝合金材料基础知识部分将形成材料化学成分库、规格(包括板材、棒材、管材和型材)与性能库、加工工艺库、附加性能库(以疲劳、断裂、腐蚀、磨损方面的数据为主)以及国内外标准和规范库。专家系统部分将以智能判断、逻辑检索、数据排序筛选等数据库运行为主要内容,其中包括:

- (1)按指定模式进行材料、加工工艺、热处理等数据的对比和选择;
- (2)按确定要求进行材料数据的检索和排序;
- (3)在未指定具体模式的情况下进行模糊(数学)判断和检索;



(4)按设计要求提供最佳方案的判断、筛选和推荐等内容。

最终分别建立起计算机知识库系统操作系统,以及印刷版和光盘版的知识库手册。

5.2 建立铝合金材料知识库的主要途径和方法

(1)汇总、归纳和整理与现有国产铝合金车辆及铝合金材料的设计、制造和试验相关的技术文件、技术标准与规范和材料的基础数据;

(2)运用数据库技术、专家系统思想、系统理论,排序、筛选和分类整理铝合金材料基础知识库和专家系统知识库;

(3)运用模糊数学成果和现代计算机技术进行研发。

6 结语

铝合金材料作为制造轻量化车体的最重要的结构材料正在得到越来越广泛的应用,几乎占据了 200 km/h 以上速度动车组的全部份额。在工业发达国家,轨道交通的用铝量占铝总消费的 15%左右。虽然,铝合金真正推广应用于轨道交通车辆制造业的时间并不是很长,但却正在成为继钢铁材料之后轨道交通装备制造的最重要的基础材料。然而,与在轨道交通车辆制造业中应用的钢铁材料相比,铝合金材料的技术资料明显匮乏,远不及钢铁材料的资料完整,也滞后于铝合金车体制造技术的迅速发展。及时建立铝合金材料知识库,不仅为高速动车组和客车铝合金车体提供帮助,也有助于推动形成铝合金车体设计制造技术的知识产权。

参考文献

- [1]戴静敏,吴兴云.车辆用铝合金的性能及其应用(上)[J].铁道车辆,1994(9):58.
- [2]戴静敏,吴兴云.车辆用铝合金的性能及其应用(下)[J].铁道车辆,1994(10):45.
- [3]吴礼本.铝材在车辆制造业中的应用[J].国外铁道车辆,1999(5):34.
- [4]EN755-2-1997 铝和铝合金-挤压的棒材、管材和型材-第 2 部分-机械性能[S].
- [5]EN485-2-2004 铝和铝合金-带、薄板和板-第 2 部分-机械性能[S].

