

罐用铝材的研究现状及存在的问题分析

Analyses of the Current Situation and Existing Problem in the Research of Aluminum Sheet Used for Making Can

傅高升^{1,2}, 钱匡武^{1,2}, 陈文哲¹, 康积行¹

(1 福州大学, 福州 350002; 2 中南工业大学, 长沙 410083)

FU Gao-sheng^{1,2}, QIAN Kuang-wu^{1,2}, CHEN Wen-zhe¹, KANG Ji-xing¹

(1 Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;

2 Central South University of Technology, Changsha 410083, China)

摘要: 分析了易拉罐和压力罐用铝材的国内外研究与发展现状及存在的主要问题, 并指出压力罐用铝材国产化研究中的关键技术和解决的主要途径。

关键词: 罐用铝材; 研究现状; 冶金质量

中图分类号: TF821; TG146.21; TG335.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2000)12-0035-04

Abstract: The present situation of internal and external research and development, and existing problems of aluminum sheet used for making easy open-end can or pressure can are discussed and analyzed. The key technology and main settlement way of making internal material used in pressure can are pointed out.

Key words: aluminum sheet used for making can; research situation; metallurgical quality

铝是 20 世纪初才开始工业性应用的金属材料, 二次世界大战期间, 铝材主要用于制造军用飞机。大战之后, 军事工业对铝材的需要量减少, 铝工业界着手开发民用铝合金, 使其应用范围由航空工业扩展到建筑业、容器包装业、交通运输业、电力和电子工业、机械制造和石油化工等国民经济各部门以及人们的日常生活中。随着科技的发展及高技术的开发与应用, 铝材的应用更加广泛, 其用量之多, 范围之广, 仅次于钢铁, 是第二大金属材料。1994 年世界原铝消费量达 1965 万吨^[1], 尤其是近年来罐用铝材、PS 版基、铝箔、建筑铝型材等民用品的研制与开发, 为铝材的应用开拓了十分广阔的市场。其中罐用铝材是近十几年来发展起来的一类高性能材料, 主要有易拉罐和压力罐(或称气雾罐、喷雾罐)用铝材。以下就该类材料国内外的研究现状及存在的问题作分析讨论, 以期对加快罐用铝材的国产化步伐有所裨益。

1 易拉罐用铝材

1.1 国内外的概况

全铝易拉罐自投放市场以来, 深受人们的欢迎, 在美国、日本等发达国家发展迅猛, 特别是进入 20 世纪 80 年代以后, 更取得了长足的进展, 在世界饮料包装市场上已占据绝对优势, 其用途也急剧扩大, 并已

进入非碳酸饮料及食品罐头领域。据报道, 1993 年全球共消耗铝易拉罐超过 1400 亿个, 用去罐材 300 万吨左右; 预计 2000 年将增加到 2400 亿个, 罐材用量将达 400 万吨^[2,3]。这种发展趋势, 为铝罐板材的生产创造了良好的机遇, 促进了研究和开发易拉罐材新技术。易拉罐用铝板材已是工业发达国家铝板带行业的主导产品。罐材的生产是高精技术, 随着制罐技术的进步, 罐材厚度正朝着越来越薄的方向变化, 其厚度已由 60 年代的 0.45mm 减至目前的 0.28mm, 将来可能减少到 0.22mm^[2,4], 这对材质的要求也越来越严格。国外另一发展方向是研制能制造罐身、罐盖和拉环均通用的铝合金^[5]。

我国全铝易拉罐生产始于 80 年代中期, 是近十余年来崛起的新兴行业。截至 1996 年, 我国引进的易拉罐生产线已达 32 条, 年产量可达 115 亿个, 年需铝材 27.5 万吨^[6]。据报道, 1995 年实际产量为 40 多亿个, 但目前易拉罐用铝材几乎依赖进口, 1991~1996 年共进口 34.78 万吨, 其中 1995 年达 10 万吨, 1996 年达 12 万吨, 年平均递增率为 30.5%^[7], 每年需耗大量外汇。

1.2 生产特点及性能要求

铝质易拉罐目前采用三种不同的铝合金板材, 罐体采用 3004H19 铝合金特薄板带, 罐盖用 5182H19

铝合金,拉环用5042H19铝合金。对于罐体铝材,若从制罐角度考虑,其最大特点是在冷轧状态下经拉深、深冲减薄壁厚(DI法)成形的,材质必须具有优良的深冲变形性能(延伸率 δ 3%,制耳率 E 4%),其理想的组织应具有无织构、晶粒组织细小且等轴均匀、过剩相质点不沿压延方向排列等;若从用罐角度考虑,应具有较高的强度(σ 275~285MPa, $\sigma_{0.2}$ 270~280MPa,罐身轴向承压强度 1.35kN,罐底耐压强度 630kPa)^[8];从节约材料、降低成本角度考虑,应具有罐体厚度薄和低的制耳率。可见其制罐、用罐对材料的组织和性能的要求极为严格。

1.3 研究应用中存在的主要问题及解决途径

目前我国易拉罐材生产存在两个主要问题:一是轧制加工设备及工艺较落后,二是材质的纯净度低,内部组织差。近年来研究的注意力在前者,而忽视了系统研究提高铝材内在纯净度、改善铸造组织的途径等;在罐体铝材研究中,主要研究在固态下的各种处理(包括均匀化、中间退火、轧制工艺等),某些关键性能指标(深冲变形性能、制耳率等)难以满足制罐、用罐要求,制罐板材主要仍靠进口,市场长期被美、日、法等占领^[9]。由于易拉罐铝板材在强度、深冲性、厚薄等方面均有很高要求,而它们又相互矛盾、相互制约,所以,生产优质的制罐铝板材的难度很大,目前只有美、日、德、加、澳等发达国家能生产优质的3004H19铝合金制罐板。为适应国内引进的制罐线用铝材的需求,解决其国产化问题,国家曾将生产易拉罐用铝材列入“七·五”重点攻关课题,引进了设备,开展了研究试制,已取得了一定的成绩,但目前仅有东北轻合金加工厂和西南铝加工厂可生产,且产量仍很少^[8],尽管一些主要性能如强度、罐底耐压等可达到要求,但其内在的冶金质量仍有待提高,深冲性(延伸率、制耳率等)与国外相比还有一定差距,且制罐成品率较低,缺乏市场竞争力^[10],尤其是降低制耳率问题仍是目前铝板材生产赶超世界先进水平的困难之一。

今后应加强提高铝材冶金质量及变形性能等方面的研究,尤其应从以下几方面进行综合考虑:严格控制杂质元素Fe、Si等含量及Fe/Si比值,以便改善罐体的抗压强度,并防止制罐中翻口裂痕等缺陷的产生;严格控制熔炼过程,尤其是应进行有效的熔体处理,尽可能降低铝中的夹杂物和氢的含量,并细化铸造组织,以利于其变形加工和立方织构的形成;同时应在铸造方法、铸锭均匀化退火、中间退火等方面进行改进,尽可能降低制耳率;在板坯热轧及冷轧等工艺方面也应严格控制。

2 压力罐(喷雾罐)用铝材——铝原块

2.1 国内外的发展概况

20世纪50年代中期,遇到了马口铁材料短缺问题^[11],导致包装工业开发了一种新产品—铝质喷雾剂(或称气雾剂)罐,它是由单片铝块一次挤压成形后缩颈卷边成整体式罐的^[12],这是一种用于盛装摩丝、液体发胶、杀虫剂、香水、除臭剂、油漆以及贮气灭火类等的金属容器。60年代初,铝罐作为一种吸引人的高质量包装已被市场接受,为适应罐装剂的市场需求,制罐的自动化程度也不断提高,目前国外已发展了喷雾罐高速挤压成形新技术,将制罐速度由40~80罐/分提高到120~150罐/分以上^[13]。1993年仅亚州的喷雾剂年产量就已达到十几亿只^[14],1997年,欧洲共生产了40亿个喷雾罐,其中铝罐为16.6亿个,占42%,用铝约8.3万吨,与1996年相比,增长率为5%。铝喷雾罐最大的消费国是德国和英国,各占欧洲总消费量的25%,其次是法国,为20%。随着1998年欧洲经济的复苏,铝工业界对铝喷雾罐市场充满信心,预计2000年消费量可达20亿个^[15]。

20世纪80年代后期,喷雾制品在我国得到人们的青睐,铝罐的生产获得了很大发展,在广东中山、汕头、上海、扬州、南京等地先后引进了十余条具有20世纪80年代末世界先进水平的铝质喷雾罐高速挤压成形生产线,1993年年产量已达4亿只罐,其产品不仅在国内广泛销售,还向香港和日本等地区和国家出口。但与世界其它工业国家相比,我国人均拥有喷雾剂产品的数量仍较低,不及发达国家的几分之一^[14],因此市场潜力巨大。

2.2 压力罐生产特点及对材质的质量要求

压力罐的主要生产过程为:制作铝坯料(铝块)将铝块反挤压一次成形罐体 切边修整 内部、外部涂漆及印刷 拱底、收颈和卷边 检验、包装。为了生产出优质的铝罐,必须要有高质量的铝坯料(以下称铝原块)。在高速自动生产线上制罐,从铝原块进入型腔至罐体出口是封闭式生产,速度相当快;并且要求挤压成形后的罐体无夹杂、气孔等缺陷、缩口(即收颈)不皱、卷边不裂的特殊变形性能,即材料须经三次加工硬化而不破坏,同时还要求成形后的铝罐应能承受一定的变形压力(1.2MPa)和爆破压力(1.4MPa)^[16]。因而对其质量提出了极严格的要求,材质应具有优异的塑性成形性能,低的平面各向异性和制耳率,合适的硬度(HB19±2)和细晶粒组织(100~130晶粒数/毫米²)^[17]。可见铝质压力罐用原块的生产是一项高技术,加工生产的难度较大。

2.3 研究现状及存在的问题

据统计,我国年需铝原块材料可达3万吨,过去该材料在国内无法生产,需花费大量外汇从西德、加拿大等国进口,制约了国内铝罐装制品的生产,其国产化已成为亟待解决的难题。为此国内先后有十余家单位对制罐铝原块这一高技术产品进行研制开发,但均未获得满意效果。1989年底,康积行教授等组织力量攻关,于1991年6月研制成功,属国内首创,达国际先进水平,初步实现了国产化,现已投入工业化生产,结束铝原块全部依赖进口的被动局面,成果获多项奖,并被原国家科委选入1994年度国家级科技成果重点推广计划(工4-3-2-9)^[18]。

适应进口高速挤压机生产的铝原块研制成功是一个突破,但国内生产的铝原块质量尚需进一步稳定和提高,才可占领更大的市场,最终全部取代进口产品。因此,如何保持铝原块质量的稳定和提高仍是一项艰巨的任务,仍有很多问题需进一步研究解决和理论化,如进一步改善提高铝原块冶金质量的途径和原理,以及提高其在高速率下成型时的塑性变形性能等;同时,由于国产铝原块生产所用的主要原材料须选择高品位的工业纯铝,成本较高,且我国原铝品位及冶金质量普遍较国外差,尤其是杂质Fe、Si含量偏高,从而在一定程度上制约了铝原块的生产。为了降低成本、充分利用原材料,并进一步占领市场,研究采用较低品位铝锭生产铝原块的技术(即铝原块用料低品化)就显得很重要。

此外,为了进一步降低成本,节省资源,还应降低与罐体生产有关的费用,如提高成品率、减小罐体修整切边量、降低制造罐体所用的原材料重量等。其中降低罐体重量,即减薄壁厚,近来已引起国外的重视和研究^[17]。在罐体壁厚减薄后,必须保证成品罐的强度,并且不能影响生产过程中的安全和成形质量。为了顺利实现薄壁化的目标,国外有人提出了一种可变化壁厚的罐体的设想^[17]。这些发展趋势值得重视。

2.4 铝原块研究中的关键技术分析及解决途径

要保证铝原块具有以上所述的特殊性能要求,其关键在于需从多方面提高材质的变形能力,尤其应从改善冶金质量上强化材质的变形能力;同时又要保证材质具有一定的强度,以确保成型后的铝罐具有承受一定的变形压力和爆破压力等强度要求。

影响罐体质量和性能的因素很多,但主要是挤压工艺和铝原块质量两方面。对于挤压工艺,如坯料温度、模具质量、挤压速度、润滑条件等,这些常由制罐厂家考虑和确定,但其中有些与铝原块外在质量也有关,如润滑情况的好坏与铝原块对润滑粉剂的附着能力有关,因此铝原块需经均匀粗化(抄毛处理),形成众多的凹坑(麻点)以保证制罐时能在其表面形

成一层均匀的润滑剂薄膜,使冲出的罐体具有良好的表面,并可延长模具寿命。而对于其内在质量,则应从以下几方面进行综合考虑:严格控制Fe、Si含量和Fe/Si比值,并进行适当的合金化,以保证材质的强度和塑韧性;采取高效的铝液净化技术,尽可能减少杂气含量,以保证铝材的纯净度;采取有效的变质处理、晶粒细化处理等措施,以保证获得理想的铸态组织;控制好恰当的铸造与轧制加工工艺规范,以保证获得合适的加工组织和性能;采取最佳的再结晶退火工艺,以保证成品获得理想的细晶组织与性能的各向同性。

由于铝原块必须具有极好的塑能力和一定的强度,因此研究材质的化学成分、轧制工艺、退火工艺等因素对其力学性能、塑性变形行为等的影响规律固然很重要,但已显不足,难以进一步挖掘材质的性能潜力。对于此类高技术产品,尤其是对其用料低品化和罐体薄壁化的研究,材质内在冶金缺陷的影响更突出。因此必须加强对铝熔体的综合处理,才可从根本上消除影响材料塑变能力等充分发挥的主要因素。过去铝原块国产化未能解决的一个关键制约因素就在于忽视有效改善铝材的冶金质量,对此已有专门论述^[18]。在加强净化等熔体处理的同时,对熔体处理的机理、熔体处理后铝材的塑性变形行为等进行深入系统的研究也极为重要,这样才可为合理地制定冷、热加工工艺制度,有效地控制产品的组织与性能等提供可靠的理论依据和实际指导。

最近,笔者对提高铝原块冶金质量和塑性变形性能等方面已进行了较深入系统的研究与实践,尤其在铝熔体净化、杂质相变质及晶粒细化等方面提出了具有一定理论意义和应用价值的看法^[19,20],即“排杂为主、除气为辅,排杂是除气的基础”的净化原则和“净化是变质和细化的基础”的熔体处理原则,并由此获得了高效的铝熔体综合处理的工艺技术^[20],已在铝原块用料低品化和罐体薄壁化的研究中获得了成功的应用,取得了重要进展,使研究成果初步转为生产力,对此将另文阐述。图1为笔者近期研制开发成功的新一代铝原块材料及高速挤压成形后的罐体半成品、成品的实物照片。

3 结束语

(1) 罐用铝材的生产是综合性的高技术,涉及到冶金、材料组织结构与力学行为、材料加工等领域,应进行综合研究。

(2) 制约罐用铝材国产化的关键因素之一在于国产铝材的冶金质量普遍较国外差,直接影响到材质在

高速率大变形量下的变形性能等的充分发挥, 改善和提高罐用铝材冶金质量势在必行。

(3) 寻找高效的铝熔体综合处理措施是提高铝材质量的关键技术, 值得重视。



图1 新一代铝原块材料及罐体半成品、成品的实物照片

Fig.1 Photo of new generation Al piece and semi-finished or finished products of can-body

参考文献

- [1] 郭保群, 孙宇, 钱丙南. 铝消费量 [J]. 世界有色金属, 1995 (10): 28
- [2] 张君尧. 铝合金材料的新进展 (3) [J]. 轻合金加工技术, 1998, 26 (7): 1~6
- [3] 王医治. 全铝易拉罐的新进展与我国制罐业的发展 [J]. 轻金属, 1995 (8): 50~55
- [4] 戴德美. 我国铝易拉罐产业的发展 [J]. 有色金属加工, 1998, (6): 11~15
- [5] 王祝堂. 国际标定牌号的加工纯铝及加工铝合金 [J]. 轻合金加工技术, 1996, 24 (4): 24~28
- [6] 刘晓英. 铝罐生产技术 [J]. 轻金属, 1995 (9): 58~62
- [7] 杨映芬. 我国高精铝板带产品的生产现状及发展趋势 [J]. 上海有色金属, 1998, 19 (4): 178~182
- [8] 汪凌云, 黄光杰, 骆少明. 饮料罐体铝材现状、问题和对策 [J]. 材料导报, 1994 (5): 25~29
- [9] 陈策. 单机架双卷取热轧机生产铝罐体料问题的讨论 [J]. 有色金属加工, 1996 (5): 1~8
- [10] 苏小新. 制罐铝合金带材的生产新工艺 [J]. 世界有色金属, 1999, 243 (专辑): 63~66
- [11] Tanscher W. Aerosol Europe, 1994, 1: 10
- [12] HERLAN & CO. Company Report. Aerosol Europe, 1994, 1: 52~53
- [13] CCL Industries Exploring Opportunities in China. Aerosol Europe, 1994, 1: 30~31
- [14] Costa P V. China: New Market Opportunities. FEA, Brussel, 1994, 6
- [15] 张育钦. 欧洲铝喷雾罐消费增长 [J]. 轻合金加工技术, 1999, 27 (2): 12
- [16] GB13042~91 包装容器-喷雾罐.
- [17] Boltsharser W. 铝质喷雾罐的生产特点 [J]. 铝气雾罐技术研讨会论文集 (常州), 1994, 10: 24~33
- [18] 傅高升, 钱匡武, 康积行, 陈文哲. 提高罐用铝材冶金质量的重要性及其途径 [J]. 材料导报, 2000, 14 (1): 25~27

- [19] 傅高升, 康积行, 陈文哲等. 铝熔体中夹杂物与气体相互作用的关系 [J]. 中国有色金属学报, 1999, 9 (材料科学与工程专辑): 51~56
- [20] 傅高升. 罐用铝材的冶金质量与变形行为研究. 中南工业大学, [博士学位论文] 2000. 1

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (E9810003)

收稿日期: 2000-05-10; 修订日期: 2000-09-10

作者简介: 傅高升 (1965-), 男, 福建省南安市人, 工学博士, 副教授。主要从事有色金属净化与强韧化及其塑性加工等的研究与应用。联系地址: 福建省福州大学机械工程系 (350002)

本文编辑: 孙常青

* * * * *

(上接第34页)

上二者时, 层内裂纹和层间裂纹共同作用, 导致涂层以局部脱落或剥落形式失效。

(2) 成分梯度化能改善层间界面的结合状况, 缓和涂层中的热应力, 提高其抗热冲击能力, 成分梯度越小, 效果越好。

参考文献

- [1] Leibert C. H. Thin Solid Films, 1979, 64: 329
- [2] 高发荣. 热喷涂 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1992
- [3] Watson J. W. and S. R. Levina. Thin Solid Films, 1984, 119: 185
- [4] G. McDonald et al. Thin Solid Films, 1980, 73: 491
- [5] Fukumoto M. et al. Thermal Spraying, 1993, 30: 20
- [6] Musil J. Fiala J. Sur. Coat. Tech., 1992, 52: 211
- [7] Levit M. et al. Mater. Sci. Eng., 1996, A206: 30
- [8] Ravichandran K. S. Mater. Sci. Eng., 1995, A201: 269
- [9] Aihua W. et al. Sur. Coat. Tech., 1993, 57: 169
- [10] Sobolev V. V. et al Sur. Coat. Tech., 1994, 70: 57
- [11] 孟国文等. 材料导报 [M]. 1995, (2): 40
- [12] John W. et al. Ceramic Industry, 1993, (6): 60
- [13] 周振丰. 焊接冶金与金属焊接性 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998
- [14] Weiss W. Sur. Coat. Tech. 1995, 71: 201

基金项目: 浙江大学曹光彪高科技发展基金资助项目 223296078013

收稿日期: 2000-01-20

作者简介: 罗伟 (1964-), 男, 讲师, 在职博士, 现从事焊接、喷涂 (焊) 的研究工作。联系地址: 浙江省杭州市玉泉浙江大学材料化工学院金属材料研究所 (310027)。

本文编辑: 全宏声

* * * * *

欢迎 2001 年度《材料工程》杂志每本定价 6 元人民币, 全年 12 期共计 72 元人民币。

汇款寄至: 北京市 81 信箱 62 分箱材料工程编辑 (邮编 100095)