

文章编号:1673-9981(2018)04-0244-05

罐用铝材研究进展*

崔利群¹, 李达人², 章耀平³, 韩胜利¹

1. 广东省材料与加工研究所, 国家钛及稀有金属粉末冶金工程技术研究中心, 广东 广州 510650;
2. 广东理工职业学院, 广东 广州 510091; 3. 广东欧亚包装有限公司, 广东 中山 528437



摘 要:铝罐作为一种重要的包装产品发展迅速, 主要形成了易拉罐和气雾罐的两种包装形式. 本文对易拉罐用 5182 罐盖铝合金及 3104 罐体铝合金的研究进行了评述, 并对气雾罐用铝材的发展进行了阐述, 讨论了罐用铝材减薄拉深技术在铝罐生产过程中的优缺点, 提出了罐体薄壁化尚需解决的问题.

关键词:铝易拉罐; 铝气雾罐; 减薄拉深

中图分类号: TG146. 2

文献标识码: A

金属铝储量丰富, 是目前用量仅次于钢铁的第二大金属材料. 因金属铝具有密度小、耐腐蚀、不易破碎、成型性好、利于回收等优点, 被广泛应用于包装行业. 如今, 我国是铝产量和铝消费量最大的国家, 其中包装用铝占铝消费量的 1/3. 铝罐作为一种重要的包装产品得到快速发展, 主要形成了易拉罐和气雾罐两种包装形式. 铝罐的主要制造工艺流程如下: 卷料输送—卷料润滑—落料—拉伸—罐体成形—修边—清洗烘干—堆垛/卸—涂底色—烘干—彩印—底涂—烘干—内喷涂—内烘干—灌口润滑—缩颈—旋压缩颈^[1]. 铝罐的制造融合了冶金、化工、机械、电子、食品等诸多行业的先进技术. 经过多年的发展, 铝罐的制备技术不断改进, 质量已大为减轻, 罐形多样, 印刷技术也有突破和创新.

1 铝易拉罐

易拉罐一般可分为三种: ①全铝罐(又称二片罐); ②罐身与罐底为镀锡铁皮而罐盖为铝合金, 即三片罐; ③罐身为钢变薄深拉而罐盖为铝合金. 最初的铝制饮料罐是由罐身、罐底、罐盖三片焊接而成, 所以又称为三片罐. 1964 年, 美国 Renolds 金属制



图 1 铝罐
Fig. 1 Aluminum cans

罐公司开发出了第一个商业化的两片式铝罐, 其特点是罐体无边缝, 与罐底形成一体^[2]. 1986 年中国首条易拉罐生产线在重庆市长江电工厂投产, 所用罐体料、罐盖料与拉环料全部进口. 开始两片式铝罐主要在啤酒和品牌碳酸饮料中应用, 后逐渐替代包装行业中的玻璃瓶和三片罐, 现已成为一种主流的金属包装形式.

生产铝易拉罐主要使用两种铝合金薄板. 罐盖一般是含中或高镁的合金, 如 5082, 5182 及其他相似的合金; 罐体是含锰、镁的防锈铝合金, 通常为 3004 或 3104 合金, 具有一定的强度和良好的可成形性.

收稿日期: 2018-09-05
* 基金项目: 广东省科学院属骨干科研机构创新能力建设专项(2017GDASCX-0117); 中山市科技计划项目(2017A1020)
作者简介: 崔利群(1988-), 女, 安徽阜阳人, 工程师, 硕士, 研究方向为金属材料近净成形.

1.1 5182 罐盖铝合金

5182 罐盖铝合金的化学成分列于表 1. 5182 罐盖铝合金的主要添加元素为镁, 镁元素能显著提高合金的强度, 又不会显著地降低其塑性. Mg 在 Al 中可形成 β 相 Mg_2Al_3 , 产生弥散强化作用; Mn 在铝合金中形成 $MnAl_6$ 相, 可以提高合金的再结晶温度, 提高合金抗腐蚀性能; Cr 元素的作用和 Mn 相似, 常以 $Al_{12}Mg_2Cr$ 的细小第二相形式存在, 能提

高抗应力腐蚀能力和焊缝强度, Mn 和 Cr 同时加入的强化效果将大于单独一种元素的加入; Zn 可提高抗拉强度; Ti 元素起到细化晶粒的作用^[3-5]. 5182 铝合金中的 Si, Fe, Cu 元素为有害元素. Si 与 Mg 形成 Mg_2Si , 会降低合金塑性, 其质量分数须低于 0.5%; Fe 元素会降低合金塑性、耐腐蚀性, 应控制合金中 Fe 质量分数低于 0.4%; Cu 元素会显著降低合金的耐腐蚀性, 其质量分数须低于 0.2%.

表 1 5182 铝合金的化学成分
Table 1 The chemical composition of 5182 Al-alloy

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Mg	Al
含量 $w/\%$	0.2	0.35	0.15	0.2~0.5	0.1	0.25	0.1	4.5~5.0	余量

5182 罐盖铝合金的生产流程主要包括: 铸造、均匀化退火、热轧、冷轧四个工序. 5182 铝合金中 Mg 含量高, 易形成非金属夹杂和氢含量超标, 在铸造过程中 Mg 容易在表面偏析, 因此需要对铸锭进行均匀化退火并尽量降低铸锭的杂质含量. 5182 铝合金在热轧过程中较易发生再结晶, 再结晶之后的组织通常比较弱, 对罐盖板材的深冲性能不利. 为了控制组织以改善板材的成型性, 对铝合金在轧制和退火过程中组织的演变规律进行了大量研究^[6-7]. 从金属板坯上切下的圆片经过深冲成杯状物后, 往往发现冲杯高度不均匀, 这种现象称为制耳. 深冲制耳是材料显著不均匀变形的结果, 会增加生产能耗、降低成品率. 目前, 罐盖材料主要存在两个方面的问题: 烘烤后强度不足和深冲制耳.

1.2 3104 罐体铝合金

罐体铝材必须具有优良的深冲变形性能(延伸率大于 3%, 制耳率小于 2%)、高的强度(拉伸强度 275~285 MPa, 屈服强度 270~280 MPa, 罐身轴向承压强度 ≥ 1.35 kN, 罐底耐压强度 ≥ 630 MPa), 罐体厚度应较薄并消除制耳以节约材料降低成本. 3104 罐体铝合金是在 3004 铝合金的基础上通过调整合金元素的成分发展而来的, 具有较高的强度、耐腐蚀性好以及深冲与减薄拉深性能好等优点^[8-10]. 3104 罐体铝合金的工业化生产已取得较大的进展, 不少企业已经可以稳定地生产出高质量、低制耳率的板材.

3104 铝合金中主要添加元素为锰, 在提高合金力学性能的同时又不会降低合金的抗蚀性. 但铝锰

合金在半连续铸造时晶内偏析较为严重, 所以需要对其进行均匀化处理. 温度、均匀化时间、枝晶尺寸、扩散时间都是影响均匀化效果的重要因素^[11]. 3104 铝合金在均匀化过程中会析出一定数量的 $Al_{12}Mn_3Si$ 弥散相, 而弥散相的尺寸和分布会影响热轧过程中再结晶晶粒的形核和长大, 从而影响再结晶组织与冷轧组织的配比^[12].

3104 铝合金中存在大量过剩的结晶相、弥散相等第二相粒子. 第二相粒子能够防止减薄深冲时合金与工具表面之间的热粘着, 但在减薄深冲时容易成为破裂的起点, 形成针孔等缺陷. 研究人员针对第二相的组态对合金的再结晶行为、强度、成形性等的影响进行了大量研究^[13-14]. 化学成分、铸造工艺和均匀化处理是调控第二相粒子组态的主要手段. 胡卓超等人^[15]的研究表明, 3104 铝合金为正应变速率敏感材料, 具有稳态流变的特征. W. B. Hutchinson 等人^[16]研究了合金成分和工艺参数对铝合金组织、组织和制耳的影响, 结果表明合金中铁的含量、铝锭均匀化温度、最终热轧温度和退火升温速率对产品性能影响显著. 控制材料的再结晶组织与轧制变形组织达到某一适当比例时, 深拉杯的制耳率可达最小值^[17-19].

2 铝气雾罐

气雾罐是带有喷射阀门和喷雾推进的气密性包装容器, 要求罐体能承受一定的内压力, 一般采用强度较高的马口铁、铝板等材料制造^[20]. 铝质气雾罐因其质量轻、耐腐蚀、耐压性等优点, 被大量应用于

工业和家居产品、包装饮料、个人护理产品及其他消费品等领域^[21-22]. 全球铝气雾罐行业在 2016 年实现了 3% 的增长, 产量达到 55 亿个, 其中个人护理品用罐量占 80%, 用于工业和家居产品的铝气雾罐占 10%, 用于药品领域的占 5%^[23].

铝质气雾罐的生产过程: 制作铝坯料(铝原块)→将铝块反挤压一次成形罐体→切边并修整→内外涂漆及印刷→拱底、收颈、卷边→检验、包装^[24]. 生产铝气雾罐需要性能优异的铝板材, 不仅要求组织均匀、性能稳定、表面质量高, 而且对尺寸公差和成型性能要求严格, 尤其要求具备优异的深冲性能, 冲制好的铝罐需承受大于 3 MPa 的变形和爆破压力, 因而生产难度大^[25-26]. Gao Sheng Fu 等人^[27]以纯度较低(A199.5)的商业用铝为原料, 研究了熔体处理技术对制备罐用铝片冶金质量和力学性能的影响规律, 发现高效熔体处理技术可使铝片的冶金质量显著提高. 热压缩变形温度对气雾罐用铝材的流变应力和软化率影响显著^[28]. 国产气雾罐几乎都是标准的圆柱形, 异形罐产量较少, 价格比普通罐高 10%~15%^[29].

气雾罐的质量状况决定了气雾剂产品的安全性和储存期, 承压能力不足可能随时引致爆炸; 密封性不良易引起渗漏, 使喷雾功能消失; 内涂层不良, 涂层容易脱落以致碎片堵塞阀门, 甚至引起罐壁腐蚀穿孔^[30].

3 铝罐减薄技术

铝材作为两片铝罐的主要原材料, 占铝罐运营成本的 70% 以上. 在铝罐的生产过程中, 降低成本最重要的途径是减小铝罐的厚度^[31-32]. 以 330 mL 的两片铝罐为例, 表 2 列出了目前中国与国外的主流罐用铝材厚度^[33]. 表 2 列出的铝材厚度说明, 中国的制罐企业仍有较大的减薄空间, 以降低成本.

表 2 中国与国外罐用铝材的厚度

Table 2 Thickness of aluminum sheets for cans in China and abroad

国家	铝材厚度/mm
中国	0.265~0.270
欧洲	0.245~0.250

与其他金属材料成型工艺相比, 以铝薄板生产

罐体所采用的减薄拉深工艺是非常复杂的成形操作. 图 2 为用减薄拉深工艺生产罐体的拉深过程的示意图^[34]. 铝板材经落料拉深后形成杯体, 之后经再次拉深及三次减薄, 形成上端厚壁 t_1 、中部薄壁 t_2 、底部厚 t_3 的罐体. 依靠减薄罐体 t_1 、 t_2 的厚度, 实现减薄用材厚度是固有的方法. 厚度的减小使铝罐成为薄壁件, 薄壁件在加工过程中, 因刚性差、强度低, 在加工过程中受切削力、夹紧力、残余应力、切削热等多种因素的影响, 很容易产生加工变形, 甚至报废.

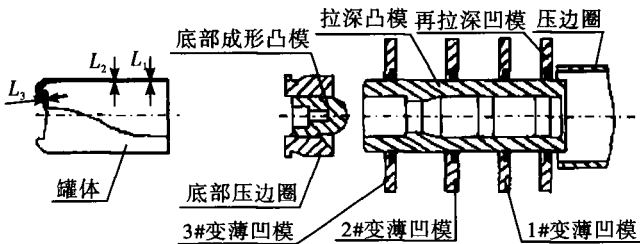


图 2 罐体拉深过程的示意简图

Fig. 2 Schematic diagram for deep drawing process of can body

罐材的薄壁化, 要求其内在冶金质量好、深冲性能好、制耳率低. 林明山等人^[35]的研究表明, 3104 铝合金罐用板材减薄至 0.265mm 是可以实现的, 经过再次拉深及三次减薄后, 罐体最薄壁厚可达到 0.0989 mm, 并能满足耐压的要求. 在罐体的生产过程中, 减薄拉深工序中最容易发生断罐, 进而导致生产中断. 因此, 在降低材料厚度的同时, 要保证生产效率, 避免废品增多而引起隐性成本增加.

4 结 语

(1) 经过多年研究, 我国罐用铝材生产技术不断提高, 通过调整铝材中合金元素成分、对铸锭进行熔体处理和均匀化处理、控制轧制和退火工艺中织构的比例以及控制第二相粒子的形状和分布, 可生产出高质量、低制耳率的板材.

(2) 罐用铝材的轻量化是降低铝罐生产成本的重要手段, 罐体正朝着越来越薄的方向发展, 但罐体的薄壁化所引起的断罐率较高、制耳率较高以及质量不稳定等问题尚不能有效解决. 同时罐体厚度减薄未来会发展至极限, 必须寻求更有效的铝罐轻量化技术手段.

参考文献:

- [1] 江鸿,向群. 铝罐生产技术和市场发展[J]. 铝加工, 2005,161(2): 26-34.
- [2] BEDDOES J, BIBBY M J. Principles of metal manufacturing processes [M]. Britain: Butterworth Heinemann, 1999.
- [3] 黄瑞银. 5182 铝合金罐盖料生产工艺技术[J]. 轻合金加工技术, 2011,39(8):14-17.
- [4] 李学朝. 铝合金材料组织与金相图谱[M]. 北京:冶金工业出版社, 2010.
- [5] JIM B H, ZHU B H, LI X W. Effect of addition Zr on As-homogenization microstructures of 5182 aluminum alloy[J]. Materials Science Forum, 2013, 749 (1662-9752): 47-53.
- [6] LIU W C, MORRIS J G. Effect of initial texture on the recrystallization texture of cold rolled AA 5182 aluminum alloy[J]. Materials Science & Engineering A, 2005,402(1):215-227.
- [7] ZHANG J X, MA M, LIU W C. Effect of initial grain size on the recrystallization and recrystallization texture of cold-rolled AA 5182 aluminum alloy[J]. Materials Science & Engineering A, 2017,690:233-243.
- [8] 张永峰,张志清,林林. 3XXX 系罐身铝合金第二相及其对加工过程的影响研究进展[J]. 材料导报 A:综述篇, 2012,26(7):101-107.
- [9] 黄瑞银,尹志民,廖明顺. 3104 易拉罐体用铝合金制备技术研究进展[J]. 铝加工, 2011(4):4-8.
- [10] CHVEDOV D, JONES R, ROSENFELD A. Effect of lubricant quantity and surface topography on the frictional behaviour of can body stock[J]. Tribology Transactions, 2003,46(3):339-347.
- [11] VAJSOVA V. Optimization of homogenizing annealing for Al-Zn5.5-Mg2.5-Cu1.5 alloy [J]. Metallurgist, 2011, 54 (9-10):618-622.
- [12] 鲁法云,张军利,于宏,等. 均匀化工艺对 3104 铝合金中弥散相分布的影响[J]. 材料热处理, 2017,38(3): 54-60.
- [13] 刘晓英. 铝罐生产技术[J]. 轻金属, 1995(9):58-62.
- [14] WU Yuemei, XIONG Ji, LAI Renming, et al. The microstructure evolution of an Al-Mg-Si-Mn-Cu-Ce alloy during homogenization[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009,475(1):332-338.
- [15] 胡卓超,张德芬,黄涛,等. 3104 铝合金的流变应力行为与动态再结晶[J]. 机械工程材料, 2005,29(2):6-10.
- [16] HUTCHINSON W B, OSCARSSON A, KARLSSON A. Control of microstructure and earing behaviour in aluminium alloy AA 3004 hot bands[J]. Metal Science Journal, 2013,5(11):1118-1127.
- [17] HUANG Yuan Chun, LIU Yu, LI Qing, et al. Relevance between microstructure and texture during cold rolling of AA3104 aluminum alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016,673:383-389.
- [18] ENGLER O, MERTENS N, DAM P V. Texture-based design of a convoluted cut-edge for earing-free beverage cans[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2011,211(7):1278-1284.
- [19] FUKUMASU H, KUWABARA T, TAKIZAWA H. Influence of material modeling on earing prediction in cup drawing of AA3104 aluminum alloy sheet [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2016, 734 (3): 1-4.
- [20] 陈文静. 铝质气雾罐的生产现状与发展趋势[J]. 科技展望, 2015 (6):259.
- [21] 张澍. 铝质气雾罐生产工艺及市场发展现状[J]. 有色金属加工, 2016,45(2):13-15.
- [22] BELBLIDIA F, CROFT T N, HARDY S J, et al. Simulation based aerosol can design under pressure and buckling loads and comparison with experimental trials[J]. Materials and Design, 2013,52(24):214-224.
- [23] 佚名. 全球铝气雾罐产量逆势增至 55 亿个[J]. 中国有色金属, 2017(11):24-24.
- [24] HARDY S J, ABDUSSLAM R. Finite element modelling of the manufacturing process for aluminium aerosol cans[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L Journal of Materials Design & Applications, 2007,221(221):265-274.
- [25] 聂祚仁,张新明,尹志民,等. 气雾制品铝罐材料研究进展与生产概况[J]. 铝加工, 1997,20(4):7-10.
- [26] KORES S, TURK J, MEDVED J, et al. Development of aluminium alloys for aerosol cans [J]. Materiali in Tehnologije, 2016,50(4):601-605.
- [27] FU Gao Sheng, CHEN Wen Zhe, QIAN Kuang Wu. Effects of melt-treatment technique on the metallurgical quality and mechanical properties of Al sheet used for can manufacture[J]. Key Engineering Materials, 2005,297:482-488.
- [28] 王火生,傅高升,陈文哲,等. 压力罐用铝材多道次热压缩变形的软化规律探讨[J]. 福州大学学报:自然科学版, 2003,31 (1):52-56.
- [29] 许兰贵,方东阳. 大锥度薄壁铝罐成形技术研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2011,32(4):22-24.
- [30] 章耀平,何渊井,孙兆飞,等. 我国气雾罐包装容器标准化研究[J]. 包装工程, 2016,37(11):111-114.
- [31] 傅高升,钱匡武,陈文哲,等. 罐用铝材的研究现状及

- 存在的问题分析[J]. 材料工程, 2000(12):35-38.
- [32] 王祝堂. 改革开放 30 年中国铝罐料工业从无到有[J]. 有色金属加工, 2010, 39(2):4-7.
- [33] 罗菁. 金属两片饮料罐的材料减薄整体方案的思考[J]. 产业与科技论坛, 2016, 15(17):79-80.
- [34] 林明山, 林娜. 铝质易拉罐轻量化的技术手段[J]. 轻金属, 2015(5):56-58.
- [35] 林明山, 林娜. 3104 铝合金罐用板材减薄技术研究[J]. 轻合金加工技术, 2013, 41(5):58-62.

The progress of research on aluminum sheet used for cans

CUI Liquan¹, LI Daren², ZHANG Yaoping³, HAN Shengli¹

1. Guangdong Institute of Materials and Processing, National Engineering Research Center of Powder Metallurgy of Titanium & Rare metals, Guangzhou 510650, China; 2. Guangdong Polytechnic Institute, Guangzhou, 510091, China; 3. Euro Asia Packaging (Guangdong) Co., Ltd., Zhongshan 528437, China

Abstract: Aluminum cans have developed rapidly as an important packaging product, mainly forming two types of packaging with aluminum ring-pull cans and aerosol cans. In this paper, the research of 5182 alloy for ring-pull can lid and 3104 tank alloy for ring-pull can body is reviewed, and the development of aluminum sheet used for aerosol can is described. The aluminum thinning and drawing technology for cans is discussed in aluminum can production. The advantages and disadvantages of the process have raised the problems that need to be solved in the thinning of the tank.

Key words: aluminum ring-pull cans; aluminum aerosol cans; thin by drawing