

先进金属成形技术在民用工业领域的应用现状和发展潜力

Development and Application of Advanced Metal Forming Technology in Civil Industry

中航工业北京航空制造工程研究所 韩秀全 杜立华 邵杰

随着工业构件整体化、精密化、复杂化的发展趋势,对先进金属成形技术的需求更加迫切;金属成形技术在工程需求和基础研究共同推动下,也在不断革新和丰富。本文就超塑成形、热成形、旋压、喷丸几种金属成形技术在民用工业领域的应用现状和前景进行总结,旨在为金属成形技术专业的成果转化和市场开拓提供参考及借鉴。

金属成形是利用材料的塑性流变特性或基本物理性能使材料发生几何外形和组织上的变化的一种方法。金属成形技术是目前航空、航天、兵器等国防工业的基础制造技术,同时更是汽车、仪器仪表、机械工业等民用产业的技术支撑。随着工业构件整体化、精密化、复杂化的发展趋势,对先进金属成形技术的需求更加迫切;金属成形技术在工程需求和基础研究共同推动下,也在不断革新和丰富。本文就超塑成形、热成形、旋压、喷丸几种金属成形技术在民用工业领域的应用现状和前景进行总结,旨在为金属成形技术专业的成果转化和市场开拓提供参考及借鉴。

超塑成形技术

1 在汽车制造业中的应用

超塑成形是广泛应用于航空航

空领域的金属成形技术,是利用材料的超塑性,在一定温度和应变速率条件下获得均匀大变形量,实现零件成形的一种方法,是目前比较先进的金属钣金轻量化制造技术。除航空航天外,当前由于环境压力,汽车工业同样面临节能减排的压力。为有效降低油耗,轻量化结构制造技术成为汽车行业发展的关键问题之一。采用铝合金、镁合金等轻型材料取代钢板,是汽车车身减重一个重要方法。目前,工业上铝合金汽车车身结构件和覆盖件多采用冷冲压成形,与钢板相比,铝合金在室温条件下回弹较大、塑性较低,使得应用冷冲压方法成形复杂形状铝合金汽车覆盖件成形较为困难。但铝合金是一种典型的超塑性材料,在超塑性状态下,即使变形量达到百分之几百,成形零件也不会出现回弹。因此,近年

来铝合金汽车覆盖件的超塑成形已经成为当前的一个研究热点,并已在工业领域获得应用。在第八届超塑性国际会议上,日本和瑞士等国的汽车公司介绍了用超塑成形方法生产的大型铝合金覆盖件,为超塑成形在汽车工业中的应用开辟了前景,如图1所示为大型铝合金汽车覆盖件。

超塑成形具有无回弹、模具结构简单、单工序、设备载荷低等优点,但目前细晶的超塑铝合金板材价格远高于普通板材,这使超塑成形覆盖件成本居高不下,限制了其大规模应用。北京机电研究所与意大利菲亚特公司共同申请欧盟第五框架的研究项目,进行了普通工业牌号铝合金汽车覆盖件超塑成形工艺的研究。

2 在民机制造业的应用

国外 SPF/DB 钛合金结构件在民机上的应用广泛,如民机 A300、

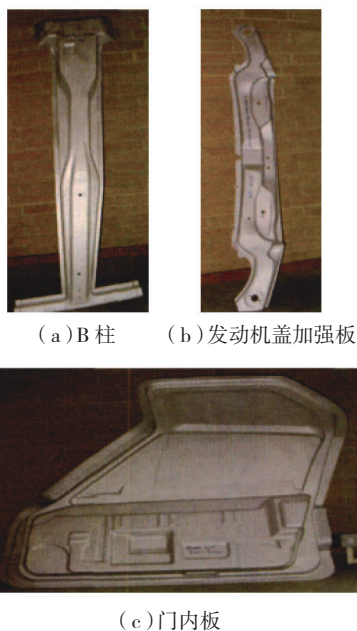


图1 大型铝合金汽车覆盖件

A310/320 的前缘缝翼收放机构外罩, A330/A340 机翼检修口盖、驾驶舱顶盖、缝缘传动机构、前缘 D 型鼻锥等, 波音 777 发动机气动舱门和 A380 飞机吊舱舱门等。以上结构采用 SPF/DB 工艺实现减重 10%~46% 不等, 技术经济效益显著。超塑成形/扩散连接技术简化了零件制造过程和装配过程, 减少了零件(标准件)和工装数量, 消除大量连接孔, 避免了连接裂纹及疲劳问题, 有利于提高结构的耐久性和可靠性, 尤其适合于加工复杂形状的零件, 如飞机机翼、机身框架、发动机叶片等。对于钛合金, SPF/DB 克服了钛合金冷成形和机加工难的缺点, 促进了钛合金整体构件的使用, 相对常规金属结构, 夹层结构具有足够的疲劳强度、良好的塑性和断裂韧性。国内开展钛合金 SPF/DB 研究已多年, 潜力巨大, 但尚未在民机上获得应用。要实现工程化应用, 需要重点开展 SPF/DB 结构静力与疲劳考核验证, 以适航标准为依据进行符合性验证, 确保民用飞机安全可靠使用。

3 在仪器仪表和电子工业的应用

仪器仪表产品的生产具有品种

多、批量小、更新快、零件几何形状复杂和有色金属材料比例大等特点。超塑成形可直接成型产品零件和冷冲模、型腔模, 工艺简单、制造周期短, 能够适应要求。主要材料为具有超塑性的锌合金和铝合金, 其中超塑锌合金大量用于制造模具型腔, 如冲裁凹模、塑料成型模的型腔, 用以压制聚乙烯、尼龙、ABS 等塑料件制造的各种旋钮、齿轮、蜗轮、蜗杆、微型机上下面板以及各种仪表的壳、盖等。北京机电研究所和北京有色金属研究所合作研究了 ZnAl22 合金, 锌基合金、铝基合金、铜合金和黑色金属等多种材料的超塑性。至今, 利用超塑锌基合金生产了百余种零件和型腔模, 利用超塑铝合金生产了数十种零件, 广泛应用与仪器仪表和电子工业领域, 如照相机、电影放映机、水平仪、摄像机等的零件。

4 在纺织和工艺美术业的应用

北京超塑新技术有限公司生产的超塑合金槽筒, 是为纺织工业对纱线质量要求越来越高、络筒机不断趋向高速化而研制的高新技术产品。由于采用了超塑成形技术中的气胀成形工艺以及高精度的模具, 可精确地保证槽筒成形精确。现已开发出多种规格的金属槽筒, 可用于络制不同级度筒子及平行筒子供整经、染

色、并纱、并捻、针织、无梭织布等工序使用。超塑材料的深加工产品应用和市场前景也很广阔如工艺美术制品、路灯灯罩、卫星电视接收天线、仪表壳体、录音机飞轮、空调排风罩等。超塑成形中的气胀成形工艺可满足灯饰灯具类产品空心薄壳、外观造型复杂的要求, 还可用于制作结构复杂、表面有花纹的高级餐具、包装盒等。

热成形技术在民用工业中的应用

热成形技术是利用金属材料在高温下良好的塑性流变特性和较低的流变应力, 在热成形模具中将毛坯精确成形, 实现新型结构材料复杂构件的制造。热成形按照工艺过程分为直接成形和间接成形。直接热成形工艺是指, 将下料后的板料加热后直接一次成形, 并保压淬火的工艺。该工艺主要用于形状简单、变形程度较小的零件。间接成形工艺是将板料在加热之前在冷冲压模具上预先成形至零件最终几何尺寸的一定程度或部分外形, 在下一个热循环实现预成形后毛坯的最终成形, 间接成形可以生产形状复杂的零件, 如图 2 所示是热成形工艺过程。

热成形工艺是一种结合了传统

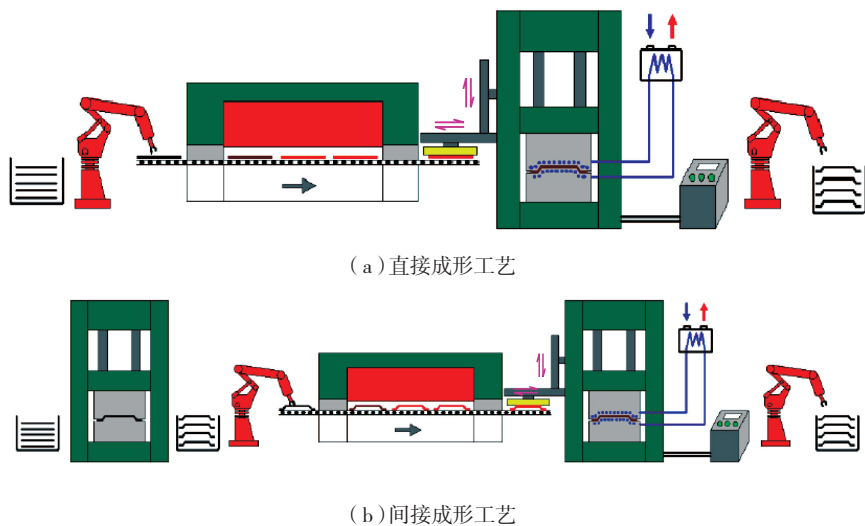


图2 热成形工艺过程

板料成形工艺与材料热处理淬火过程的新型材料加工方法,对于克服新型结构材料成形性难题有独特的潜在优势,在汽车、轨道交通工业具有广阔的应用前景。

热成形技术目前应用于汽车 A 柱、B 柱、C 柱、侧门防撞梁、门槛加强梁、前保险杠等对撞性要求高的零部件的制造,图 3 所示为侧门防撞梁

热成形件结构形式。

采用热成形技术可极大提高车身整体结构的刚度和强度,大幅度提高整车碰撞安全性能与 NVH 性能;大量运用该技术可有效减轻整车的质量,提高整车的经济性能。

国外汽车企业生产的多款车型中均使用了热成形件,如表 2 所示。

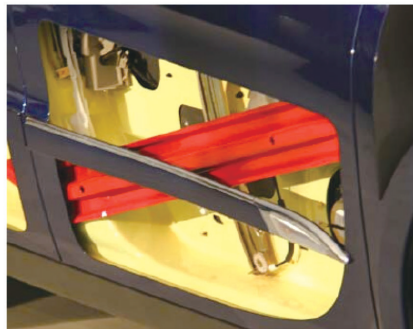
国内方面,宝钢引进了瑞典

AP&T 公司的生产线,德国本特勒在中国的两家子公司,长春长瑞本特勒和上海汇众本特勒的生产线,以及西班牙海斯坦普在昆山建成的一条生产线,加拿大麦格纳斯玛在上海建成的热冲压生产线,用于国产速腾、奥迪等几款轿车核心零部件生产(如 A 柱、B 柱、前后保险杠等),成本较高。奇瑞公司利用热成形技术生产了某车型防撞梁和 B 柱加强板。

热成形技术在轿车上广泛应用的同时,还会在客车、货车、轨道交通等其他大型车辆上,但国内需要解决的一些关键技术包括为了防止氧化和降低强度而采用的涂层材料的设计,适合高温并快速冷却的热成形模具的设计(包括材料的设计、加热冷却系统的设计等),热冲压成形零件性能、尺寸、应力的检测技术。



(a) A 结构侧门防撞梁



(b) B 结构侧门防撞梁



(c) 侧门防撞梁全貌

图3 侧门防撞梁热成形件结构形式

表2 热成形件的部分应用车型

热成形件	应用车型
A 柱	道奇酷博, 奥迪 A3、A5、Q7, 日产 Altima
B 柱	福特蒙迪欧, 雷诺 Laguna3, 日产风雅、雅阁, 丰田普锐斯, 斯柯达明锐, 奥迪 A3、A4L、A5、Q5, 奔驰
边梁	雷诺 Laguna3, 大众帕萨特, 路虎揽胜
保险杠	奔驰 C 级, 菲亚特 500, 福特福克斯、蒙迪欧, 宝马 3、5 系列, 大众帕萨特、路波
顶盖纵梁	吉普指南针, 福特蒙迪欧, 奔驰 C 级
门梁	福特福克斯、蒙迪欧、菲亚特 500, 宝马 3、5 系列, 路虎揽胜, 日产 Altima, 大众帕萨特、路波, 尔沃
侧梁	大众帕萨特, 路波, 奔驰 S 级, 奥迪 A5、Q5

旋压成形技术

旋压成形技术作为一种连续局部逐点变形的塑性加工工艺,具有无屑加工、柔性好、成本低廉等优点,适合加工多种金属材料,可以快速成形薄壁回转体零件。将旋压技术应用于皮带轮、钢质车轮轮毂和轮辋的制造,具有重量轻、精度高、可靠性好的特点,同时铝合金轮毂旋压替代传统的压铸一车削铝合金车轮是汽车轻量化发展的一个重要趋势。除此之外,旋压技术也应用于压力容器和整体气瓶、轻工家电、轴承生产。

1 在汽车中的应用

国外 17 英寸以下轿车铝轮的生产以锻坯或坯经旋压成型已成为主流。近几年国内外用锻造、旋压工艺制造了 16~22.5 英寸汽车无内胎车轮,以其造型美观、重量轻、强度高成为钢轮的强劲竞争点。采用锻造-旋压工艺方法生产的轮毂,提高制造精度的同时,改善了显微组织和机械性能,能够达到轮毂等强度要求。此工艺在德国等较发达国家已发展成为成熟技术,目前国内戴卡、华泰等

企业在使用该工艺研究试制。

近年针对高级轿车及新能源汽车对轮毂轻量化和外观要求,在已有铝合金轮毂工艺基础上,制定了一种由锻造、旋压、铣削和注塑件相结合的高强度轻量化铝合金轮毂生产工艺。

通过强力旋压工艺加工的无内胎钢制车轮的轮辋和轮辐可以实现等强度结构代替按最危险载荷截面设计的等厚度结构,达到节省材料,提高强度和耐应力腐蚀性能的技术经济效益,如图4所示为旋压工艺制造的等强度轮辋和轮辐。

2 在整体气瓶制造中的应用

旋压技术可以实现无缝整体气瓶制造,包括钢制无缝气瓶、铝合金气瓶、复合材料钢内胆气瓶、复合材料铝内胆气瓶。主要应用于呼吸气瓶、CNG天然气气瓶、中大型高压气体运输气瓶等领域。相比传统冲压瓶肩和瓶底,与管件或卷焊瓶体焊接的制造方法,旋压气瓶具有工序简单、整体无缝、密封性和承压力好的特点,在市场竞争中占有明显优势。

3 在家电轻工行业的应用

空调与冷却设备中的某些回转零部件通常是采用冲压工艺和焊接的方法制造,排气或排烟用零部件,如具有绝热层或无绝热层的烟囱的拱门、炉膛、连接零件、排气管等,通常是利用不锈钢板、镀锌铁板等卷圆后再进行焊接或铆合而获得。采用旋压工艺,可实现零件的一次整体成形,缩短了加工周期,提高了部件的整体化程度。

采用强力旋压的方法可以生产包括碗、大口杯、沙拉碟,医院用的桶、过滤器、水壶、量具、调味瓶在内的轻工产品,采用普通旋压的方法还可以生产铝壶、点心盒、勺、平底锅等用品。

喷丸成形技术

喷丸成形技术是利用高速弹丸

流撞击金属板材的表面,使受撞击的表面及其下层金属材料产生塑性变形而延伸,逐步使板材发生向受喷面凸起的弯曲变形而达到所需外形的一种成形方法。喷丸成形技术在美国和欧洲等国家的航空部门获得了重要应用,包括空客和波音等大型飞机在内的机翼壁板零件的成形均采用喷丸成形技术,图5所示为喷丸成形的国产支线飞机ARJ21机翼下中壁板。

国内方面北京航空制造工程研究所联合西安飞机工业(集团)有限责任公司、西北工业大学和成都飞机制造工业(集



图4 旋压工艺制造的等强度轮辋和轮辐

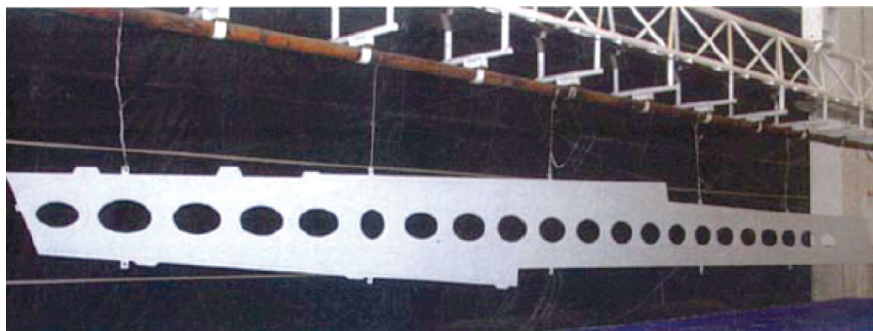


图5 喷丸成形的国产支线飞机ARJ21机翼下中壁板

团)有限责任公司,突破了从机翼壁板数模到满足适航要求的壁板零件的各个制造环节的关键技术,并于2006年成功研制出了ARJ21飞机大型超临界机翼整体壁板。作为国产大飞机的核心关键制造技术,仍需开展大飞机机翼和机身整体壁板长寿命、低成本成形技术系统研究,有效解决制约国产大飞机研制的重要瓶颈。

总结与展望

金属成形技术作为一项关键的

基础制造技术,随着工业领域对构件制造要求的不断提高和新型材料的广泛应用,对先进金属成形技术的需求更加迫切。一方面,金属成形技术专业需要在需求牵引下进一步创新和丰富,适应不同工业领域的发展趋势;另一方面,通过基础研究,孵化先进成形技术,带动新材料及新结构的工程化应用,为设计提供更大的自由度,重视金属成形技术在民用工业领域的推广应用和市场拓展,提升价值创造能力,创造技术和经济效益。

(责编 亿霖)