

论汽车轻量化

马鸣图¹, 易红亮², 路洪洲¹, 万鑫铭¹

(1. 中国汽车工程研究院, 400039 重庆; 2. 浦项理工大学, 790784 韩国 浦项)

[摘要] 论述了汽车轻量化的意义、表征参量、评价方法、实施路径和方法; 轻量化的设计, 零部件和构件的功能与材料性能参量的关系以及先进成形技术的应用。结合近期轻量化的相关进展和笔者的工作, 对汽车轻量化进行了全面系统的论述, 以期给出关于汽车轻量化较完整的概念和认识。

[关键词] 汽车轻量化; 评价方法; 表征参量; 零件功能; 材料性能; 成形技术

[中图分类号] U46 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)09-0015-08

1 前言

中国汽车总产量 2007 年已近 900 万辆, 2008 年近 940 万辆, 汽车保有量已近 6 000 万辆。汽车工业已成为中国的支柱产业^[1]。2007 年中国汽车消耗全国石油的 60%, 我国石油需求量对进口的依赖度已超过 50%, 今后还将进一步加大。随着汽车产量和保有量的增加, 汽车在给人们的出行带来方便的同时, 也产生了油耗、安全和环保三大问题。如何应对三大问题, 各国政府都提出了相应的措施。包括制定条令法规, 如油耗法规, 安全法规以及排放法规^[2-4]。各国汽车工业界一致认为, 汽车轻量化是满足上述三个法规的有效手段和方法^[2-5]。

2 汽车轻量化意义重大

2.1 节能减排是汽车工业发展的必然趋势

20 世纪 70 年代的两次石油危机, 促进汽车工业提高了燃油经济性^[3], 80 年代中期以后, 保护人类居住和赖以生存的环境又一次推动汽车工业提高燃油经济性和排放。《BP 世界能源统计 2008》的数据, 2007 年全球石油产量为 8 150 万桶, 按照这一数字, 全球石油储量可满足 40 年的需求; 目前美国

53% 依赖进口石油, 欧洲高达 76%, 日本几乎全部依赖进口, 中国石油对外依存度接近 50%。在各行各业的石油消耗中, 汽车工业是耗油大户。1990 年以后中国石油供应结构的变化见图 1。国产原油增长缓慢, 原油进口大幅增加, 目前原油对外依存度超过 47%

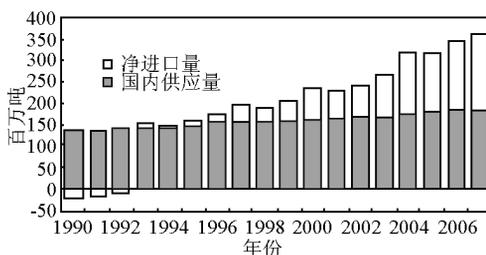


图 1 1990 年以来中国石油消费的供应能源

Fig. 1 The supply structure of China's petroleum consumption since 1990

我国石油消费中汽车燃油的增长情况示于图 2。2006 年, 汽车用燃油消耗占国内石油消耗总量的 27%, 其中车用汽油占全国汽油消耗量的 86.4%, 车用柴油占全国柴油消耗量的 38.5%, 农用车对柴油消耗达到 11%。按 2005 年美国环保局 (EPA) 的数据, 各个产业的温室气体排放情况见图

[收稿日期] 2009-05-20

[基金项目] 国家科技部国际合作项目 (2008DFB50020)

[作者简介] 马鸣图 (1942-), 河南兰考县人, 研究员级高级工程师, 中国汽车工程院总工程师, 研究方向为汽车材料的研究与开发、双相钢、微合金钢等; E-mail: mingtuma@126.com

3, 交通运输的温室气体排放量仅次于电力工业。这些数据表明: 汽车工业节能减排对于一个国家的能源供应和环境保护都具有重要的意义。

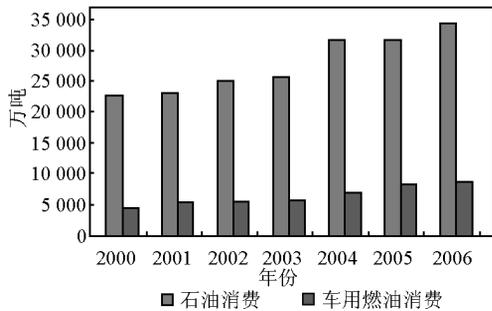


图2 汽车燃油在我国石油消费中的的增长情况
Fig. 2 The increasing condition of automobile oil in petrol consumption

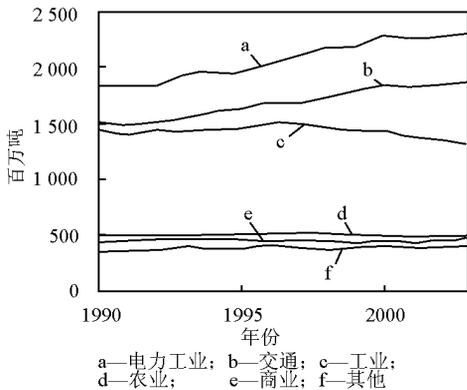


图3 美国各个产业的温室气体排放情况

Fig. 3 US GHG emissions by various sectors

注: 数据来源美国 EPA, 2005

2.2 为应对节能减排, 各国和地区都制定了相应的法规

欧盟, 北美, 日本等都制定了严格的燃油经济性指标, 如美国的 CAFE (Corporation Average Fuel Economy) 规定乘用车燃油消耗 27.5 英里/加仑 (约 11.8 km/L)。轻型货车不低于 8.8 km/L。日本规定 2010 年汽油乘用车燃油经济性为 15 km/L, 比 1995 年提高 22.8%, 柴油乘用车比 1995 年燃油经济性提高 14.9%, 达到 12 km/L。欧盟乘用车燃油经济性目标为 18.8 km/L, 2009 年单车平均排放 CO₂ 减少到 140 g/km。大气中 CO₂ 的排放量见图 4。为应对全球变暖, 全世界已有 140 多个国家签订了《京都议定书》, 我国于 2004 年开始实施《乘用车燃料消耗量限制标准》, 2010 年乘用车平均油耗比 2003 年下降 15%。

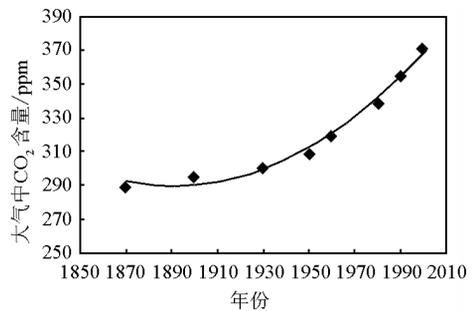


图4 大气中 CO₂ 含量的变化情况

Fig. 4 Variation conditions of CO₂

content in atmosphere

注: 1 ppm = 10⁻⁶

2.3 轻量化是实现节能减排的有效手段

研究表明, 约 75% 的油耗与整车质量有关, 降低汽车质量就可有效降低油耗以及排放。目前, 大量研究表明, 汽车质量每下降 10%, 油耗下降 8%, 排放下降 4%。美国在欧洲全顺车的实验表明, 在满足欧 IV 标准条件下, 每百公里油耗 Y 与自重 X 满足以下关系

$$Y = 0.003X + 3.3434 \quad (1)$$

对商用车的研究表明, 汽车质量每减少 1 000 kg, 油耗可降低 6% ~ 7%。油耗的下降, 意味着 CO₂, 氮氧化物 (NO_x) 等有害气体排放量的下降。据报道, 在美国汽车质量如果减少 25%, 燃油消耗按减少 13% 计, 一年可节省 2.7 亿桶石油, 按文献 [6] 的数据, 每消耗 1 L 燃油, 将产生 CO₂ 2 ~ 2.5 kg。因此燃油消耗的降低, 就意味着温室气体和其他有害气体排放的下降。

汽车运行阻力和汽车质量的关系示于图 5, 除空气动力学阻力之外, 车子运动的各种阻力都和车子质量呈线性关系。诸多车型自身质量和燃油消耗关系的实验结果示于图 6, 乘用车车重减少 100 kg, 每升油多行驶 1 km。图 5 的理论分析和图 6 的实验结果均表明, 轻量化对汽车节能减排的意义。

汽车质量的减少, 会减小动力和动力传动系统的负荷, 可在较低的牵引负荷下表现出同样或更好的性能。Lotus 公司证明, 簧载质量下降, 明显提高行驶平稳性和舒适性。为提高轿车安全性等性能, 增加一些辅助装置, 导致车的质量增加, 这些又需要通过轻量化予以补偿。又如, 混合动力汽车, 由于增加了混合动力系统装置而增加了车重。如果在混合动力汽车中实现轻量化, 不但可以减少油耗, 还可以降低制造费用。

无论从战略角度、商业角度还是社会发展来看,

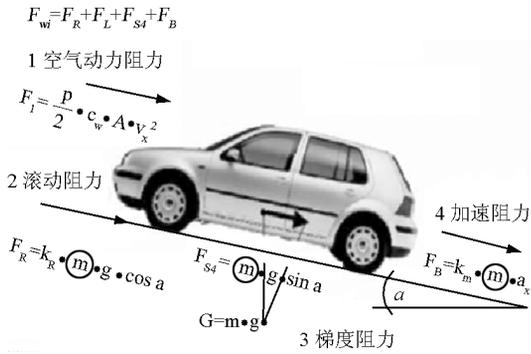


图5 汽车自身质量对燃油消耗的影响

Fig. 5 Influence of mass on oil consumption

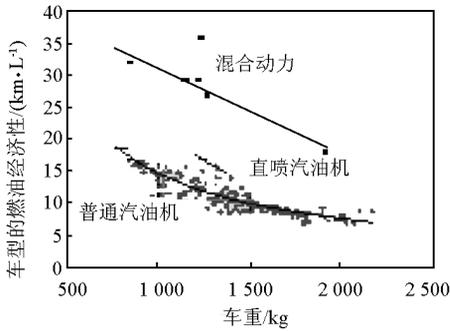


图6 各类车型的燃油效率与车身自重的关系

Fig. 6 relation of 10/15 mode fuel efficiency with vehicle weight

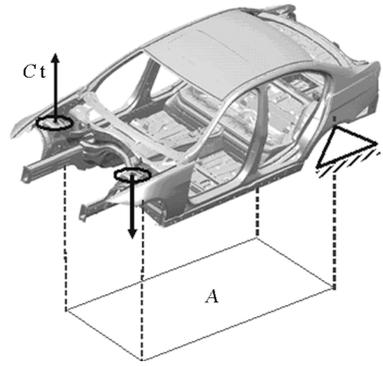


图7 白车身轻量化系数的相关参量示意图

Fig. 7 the schematic of related parameters for light weight coefficient of BIW (Body in White)

之后,车子的轮边宽度也相应的确定,车子的轮边宽度与前后轮距之比应符合黄金分割,即轮边宽/前后轮轴距的比值接近 0.618;按照这些数据,方程(2)中的 A 实际确定了车子的级别,即 A 级, B 级, C 级和 D 级等,这与车子的宽敞舒适度也密切相关。但在一般情况下,在进行轻量化设计时,人们关心更多的是轻量化和安全的统一性,因此轻量化系数应该还涵盖有更多的相关内容。虽然轻量化系数具有一定的物理内涵,但对于不同车型、不同公司产品,用 L 的绝对值难以说明其轻量化效果,通常轻量化是与原标杆相比较所得相对值。因此,为了更直接的反映轻量化的效果,基于式(2)和相关的轻量化设计概念,也为了消除轻量化系数 L 的量纲,文献[7]提出了轻量化指数 L^i 作为表征轻量化效果的指标,即

$$L^i = 1 - L_2/L_1 \quad (3)$$

L_1 和 L_2 代表轻量化设计前后的轻量化系数,将(1)带入(3)可得:

$$L^i = 1 - (m_2/m_1) \cdot (C_{t1} \cdot A_1)/(C_{t2} \cdot A_2) \quad (4)$$

当 BIW 的性能在轻量化设计前后不变,其安全性也保持不变时,方程(4)可简化为:

$$L^i = 1 - m_2/m_1 \quad (5)$$

此时,轻量化指数就表明了减重的百分数。类似的,当进行轻量化设计时,车子的重量已经在可接受的范围内,而 BIW 的性能提升,安全性不变,其重量也不变时,则方程(4)可简化为:

$$L^i = 1 - (C_{t1} \cdot A_1)/(C_{t2} \cdot A_2) \quad (6)$$

此时轻量化指数所表征的轻量化效果即为性能提高的百分数。

当白车身进行轻量化时,重点关注的是 NVH 特

具有高燃油经济性和环保特点的汽车顺应了社会发展的需要。国外统计表明,汽车的使用费用一般为购置费用的 1~2 倍,而使用费用中燃油消耗则占很大的比重。汽车燃油消耗已成为影响我国轿车产量增长的主要因素。

3 汽车轻量化表征参量和评价方法

文献[5]和文献[7]已经论述了轿车白车身轻量化的表征参量和评价方法,在文献[4]中为评价宝马公司的轻量化效果提出了轻量化系数 L 的概念。 L 可用式(2)表示,单位为 $\text{kg}/(\text{Nm}/^\circ \times \text{m}^2)$ 。

$$L = m/C_t \cdot A \quad (2)$$

式中 m 表示白车身的结构重量(不包括车门和玻璃),单位为 kg ; C_t 表示静态扭转刚度(包括玻璃),单位为 $\text{Nm}/^\circ$; A 表示左右轮边宽度与前后轮中心距的乘积所得的面积,单位为 m^2 ;有关参量示意图见图7,汽车轻量化效果反应在 L 值的下降。

在轻量化系数关系式中,面积 A 也是表征性能的重要参量。以笔者的理解该参量中的前后轮距大小决定了车子的大小、乘用空间,因为前后轮距确定

性,则方程(4)中的刚度 C 可用车身的固有振动频率替代,式(4)所表示的轻量化指数 L^i 就可写为:

$$L^i = 1 - (m_2/m_1) \cdot (f_1 \cdot A_1)/(f_2 \cdot A_2) \quad (7)$$

式(7)中 f 为白车身的弯曲或扭转振动频率。此时轻量化指数所表征的轻量化效果实际是 NVH 所改进的百分数。当汽车轻量化的水平因其他性能参量提高而实现轻量化时,在公式中的扭转刚度 $C_t \times A$ 应被其他相应的性能参量代替,如国际钢铁协会所进行的超轻钢覆盖件、超轻钢悬架就属于这种情况,当进行 BIW 轻量化设计时,要求白车身重量不变,性能不变,但碰撞安全性提高,此时的轻量化指数 L^i 就可表为

$$L^i = 1 - I_1/I_2 \quad (8)$$

这里轻量化指数所表征的轻量化效果,即为碰撞安全性的提高。式(8)中 I_1, I_2 即为轻量化设计前后的碰撞安全的性能评价。

因此可将式(4)改为:

$$L^i = 1 - (m_2/m_1) \cdot (P_1 A_1/P_2 A_2) \quad (9)$$

式中: m_1, m_2 为轻量化前后的白车身或零部件重量; P_1, P_2 为轻量化前后的白车身或零部件性能; A_1, A_2 为轻量化前后白车身法定的投影面积的变化。

在进行轻量化设计时,还应遵从一些基本原则,如前轴、后轴的轴荷分配为 1:1,全车身实现低重心,轻量化的重点应在车身的前部,其次在中部,然后在尾部;轻量化效果对整车载荷分布应无不良影响等。同时必须综合考虑车身轻量化功能和价格。

国际钢铁协会主持进行的 ULSAB - AVC 项目,就是考虑到这些因素:首先是满足碰撞法规要求的轻量化,其次是重量比原车身设计下降 20%,并且白车身价格不能上升。

表 1 列出了 ULSAB 和 ULSAB - AVC 轻量化的要求和设计效果。即此时的 L^i 等于 20%,表征了满足碰撞法规 and 价格不变条件下的白车身轻量化效果。

表 1 ULSAB 和 ULSAB - AVC 的目标和效果

Table 1 Target & effect of ULSAB and ULSAB - AVC

BIW 类型	原设计的 BIW	ULSAB 的 BIW	ULSAB - AVC 的 BIW
适用的碰撞法规/年代	2000 年法规	2000 年法规	2004 年法规
BIW 质量/kg	270	203	218
BIW 价格/美元	979	947	972

4 白车身设计要求

对白车身的设计要求是:好的驾驶性能和动力传动系统性能,低的油耗,高的被动安全性,乘坐的舒适性以及漂亮的外观、合理的成本等。将这些市场需求转化为设计功能要求,就确定了车身设计理念,材料与工艺的选择、合理成本与高性能的匹配,其 BIW 的具体要求示于图 8,具体要求 4 个方面:

- 被动安全的碰撞性能;
- 与汽车振动和行驶稳定性相关的车身刚度;
- 与汽车运动声学 and 舒适性相关的 NVH 特性等;
- 与汽车使用期限和寿命相关的振动的稳定性、应力循环图以及腐蚀回收等。

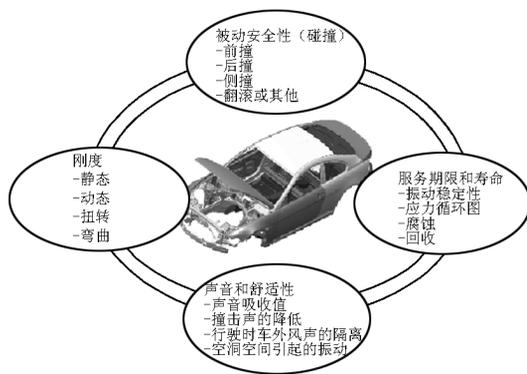


图 8 车身设计的功能要求

Fig. 8 Function requirements for design of BIW

5 汽车轻量化和轻量化设计的概念

汽车轻量化设计和白车身重量的减轻不能以简单的减重多少来度量,必须与所设计车身的尺寸和功能相关。汽车轻量化设计和轻量化的概念应从以下 3 个方面来阐明。首先是对于已有的功能可满足要求的汽车,轻量化的设计是降低重量而保持原功能不变,其轻量化的效果是直接的减重。其次是现有功能尚不能全部满足要求或需要提升的汽车,轻量化设计是完善功能而保持质量不变,如改进汽车的动力学性能, NVH 性能和声学性能,操纵稳定性,提高汽车的刚度和安全性等^[5],再次是汽车轻量化设计既要提高改进性能,同时也使汽车减重。汽车的轻量化设计实际上是功能改进,质量降低,结构优化和合理价格的结合。例如,由国际钢铁协会组织的全世界 34 家钢铁公司联合进行了超轻量钢车身 (ULSAB) 项目就是功能、材料、减重、成本的结合^[5,6]。超轻钢车身、超轻钢汽车覆盖件 (ULSAC) 和超轻钢汽车悬架 (ULSAS) 的汽车轻量化设计项目虽然其目标不同,但也都是类似 ULSAB - AVC

(advanced vehicle concept)超轻钢车身先进轻量化设计概念,其实施也是设计、功能、材料、减重和成本的综合,使项目达到最优性价比。

6 轻量化设计和轻量化工程的实施

汽车轻量化设计和工程应该是不同材料的优势集成,不同专业的优势集成。设计、材料和先进的加工成形技术的优势集成即从轻量化的概念设计——零部件的几何形状优化而取得的轻量化设计——通过先进的制造技术而取得的轻量化设计——由于轻量化材料的合理应用而取得的轻量化设计,即4种优势的集成。

汽车轻量化工程的实施方法见图9,即在选定的轻量化目标的前提下,从以下3个方面进行轻量化实施,包括:工程优化设计,如最优的承载路径,均匀化的结构和优化的几何形状;在制造工艺方面,包括应用先进的加工技术,如激光拼焊板等,先进的连接技术,如翻边连接,自铆连接等,在采用先进的高强度轻量化材料方面,如高强度钢和先进高强度钢,铝合金和镁合金等,最终达到开发时间短、成本低、白车身的性价比最优的目标。在轻量化工程实施时,计算机模拟和分析是缩短时间、减少试制和试验次数有效的工具。

7 轻量化零件的功能和材料性能的关系

一些典型车身零件的功能和材料性能的关系列于表2^[4]。应该强调的是设计零件的功能要求与对应的材料性能有一定的关系,但二者有很大的区别,是两个概念。不同结构件的功能要求不同,所对应材料的性能亦不相同。对于车身轻量化设计时应考

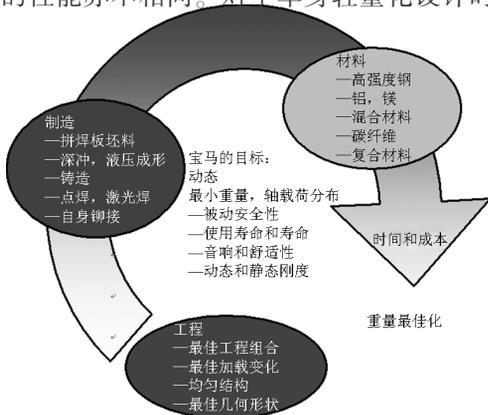


图9 汽车轻量化工程的实施方法
Fig. 9 The implement process for automotive light weight

虑的一些构件功能和对应的材料选择时应考虑的材料特性列于表3。

表2 典型零件的功能和材料性能的关系

Table 2 The relationship between the performances of auto parts and the properties of materials

构件使用中可能承受的变形量	用高强度钢所制造的零件	希望零件拥有的性能	板厚、强度和性能之间的关系方程
大的塑性变形	保险杠、加强板、门防撞柱、边梁加强筋	高的压溃强度高的吸能	$P_s \propto t(\sigma_b)^n$; $n \approx 1/2$ $A_E \propto t^2(\sigma_b)^{2n}$; $n = 1/2 - 2/7$
	车顶盖、发动机	高的压痕抗力	$p_l \propto t(\sigma_p)^n$; $n \approx 1/2.5$
小的塑性变形	机、盖板、门外板;行李箱盖板	高的压痕抗力	$p \propto t \cdot E_D^n$ $(1/E_D = 1/E + 1/E_s)$
非常小的弹性与塑性变形	车身边梁、横梁	高的模量	$\sigma_w \propto \sigma_b$
非常小的变形	边梁车轮	疲劳强度	

注: P_s 为压溃强度; A_E 为压溃吸能; p_l 为压痕抗力; p 为小变形抗力; σ_w 为疲劳强度; σ_b 为抗拉强度; t 为板材厚度; σ_p 为成形状态的板材流变应力; E_D 为动荷模量; E 为弹性模量; E_s 为正割模量; n 为常数

表3 构件功能和材料特性

Table 3 Performances of components and the properties of materials

功能	材料特性
扭转、压缩、剪切刚度	E/ρ
弯曲皱缩刚度(碰撞能量)	\sqrt{E}/ρ
弯曲刚度	$\sqrt[3]{E}/\rho$
扭转、压缩、剪切强度	$R_{F0.2}/\rho$
弯曲皱缩强度	$\sqrt{R_{F0.2}}/\rho$
弯曲强度	$\sqrt[3]{R_{F0.2}}/\rho$

注: E 为弹性模量; $R_{F0.2}$ 为屈服强度; ρ 为密度

根据零件的受力和功能要求,按照表2和表3所列相关参量,通过对每个部件的轻量化目标和应力分析,优化设计完成后,才可确定轻量化材料;当采用轻量化的结构材料时,它可能会提高半成品的成本和打破原来的维修习惯,增加维修成本,因此必须通过几何形状优化和相关结构的轻量化优化设计,使零件的成本降至最低,再通过合理选择轻量化材料和轻量化设计相结合以及先进的加工技术,使之达到重量和成本的最佳匹配,准确确定每千克减重的成本保持在可以接受的限度内,否则会导致轻量化设计缺乏市场竞争力。作为车身覆盖件,镁合

金塑料复合材料的每千克减重所带来的成本,还难以被市场所接受。除非有特殊的性能要求,(如减震和降噪),由于性能和成本的关系,钢板将仍是车身结构的主要材料。在确定选择轻量化材料和成本优化技术之前,应进行相关技术的全寿命周期的能耗和 CO₂ 的排放评估^[8]。

8 轻量化设计和实施时的先进成型技术

8.1 激光拼焊

激光拼焊是指将几个小零件通过激光焊接集成到一个大的毛坯,进而冲压成形成所需整体部件。近年来激光拼焊板发展迅速,在汽车上已经得到了广泛的应用,主要用于差强度、差厚度或不同表面处理状态的零件整体成形^[9],使用激光拼焊板可使模具的数量和后续生产工序减少,从而降低了生产成本,并提高了零部件的质量,优化了零件结构,充分发挥了不同强度,不同厚度板材的特性,成为汽车轻量化降低零件数量、保证汽车安全、优化设计和改进制造技术的重要手段。其应用的典型零件示于图 10。在汽车中采用激光拼焊板材后,可使零件重量减轻 24%,零件数量减少 19%,焊点下降 49%,生产时间缩短 21%,因此,其应用量正在迅速增加。此外,激光拼焊还可以将铝合金和钢铁材料等不同类型的材料焊接在一起,进一步扩大了应用范围。目前,中国的激光拼焊板生产线已超过 10 条,Posco 的全自动激光拼焊线有 7 条,其中 2 条可加工曲线,年总产量可达到 670 万片^[10],德国蒂森公司的激光拼焊产品也呈现快速增长的趋势。激光拼焊板的应用涉及到拼焊质量的检测,模具的设计以及成型工艺的分析等一系列技术问题,尚有不少应用技术和相关的检测标准和方法需要开发和完善。

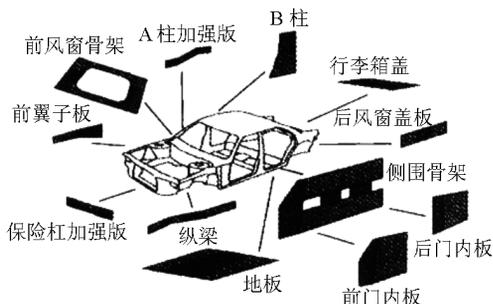


图 10 激光拼焊应用的典型零件

Fig. 10 Typical parts of TWB (tailored welding blanks)

8.2 液压成形

液压成形是指采用液态物质作为施力介质,使坯料在施力介质作用下,贴合凸模或凹模面成形,它是一种柔性成形技术,该技术已成为一些形状复杂、强度高、成形性差材料的理想成形方法,优点十分突出。液压成形分为板材液压成形和管材液压成形,在汽车工业中,应用较多的是管材液压成形;与冲压焊接件相比,管材液压成形的优点是:节约材料,减轻重量,一般结构件可减重 20%~30%,轴类零件可减重 30%~50%;如轿车副车架,一般冲压件重为 12 kg,内高压成形件为 7~9 kg,减重 34%,散热器支架,一般冲压件重 16.5 kg,内高压成形件为 11.5 kg,减重 24%;可减少后续的机加工量和组焊工作量;提高构件的强度与刚度,由于焊点减少而提高疲劳强度。与冲焊件相比,材料利用率为 95%~98%;降低生产成本和模具费用 30%,因此液压成形件的应用越来越多,目前,北美的新车型有近 50% 的结构件采用液压成形。发动机副车架液压成形过程和排气歧管的液压成形件示于图 11。液压成形件在汽车上的其他应用见图 12^[11]。今后,新设计的新型轿车 50% 的结构件由冲压件改为液压成形件,广泛用于轿车的副车架、散热器支架、底盘构件、车身框架、排气系统异型管件。目前北美需求量为 3 600 万件/年,欧洲需求量为 2 000 万件/年^[12]。我国一汽已和哈工大合作试制自主品牌轿车的副车架,并进行疲劳试验;上海宝钢也引进了一条液压成形生产线,并试制了专用管材。Posco 已建有 1 600 t 的排气系统零件的专用生产线,并拥有 2 条全自动的生产线(分别 5 000 t 和 3 500 t)^[10]。



图 11 发动机副车架液压成形过程和排气歧管

Fig. 11 The underframe of engine and the exhaust manifold

8.3 热成形技术

在高强度下,冲压构件的回弹以及模具的磨损等都难以解决,在这种情况下产生了热成形高强度马氏体钢及相应的工艺成形技术,其应用也取得了进一步的发展。初始强度为 500~600 MPa,对钢板加热到奥氏体温度范围,然后钢板在压机上冲压成

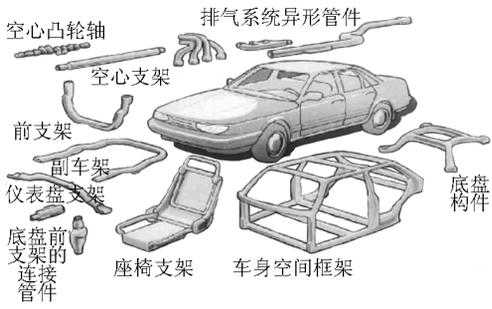


图 12 液压成形件在汽车上的其他应用

Fig. 12 Application of hydroforming in automobile

的物理力学性能,典型的模具设计见图 14^[15,16]。

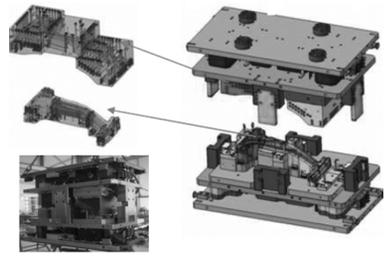


图 14 典型的热成形模具设计

Fig. 14 Typical die structure design of hot forming

所需形状,同时以 20 ~ 300 °C/s 的冷却速度进行淬火,保压一段时间以保证充分淬透,最后零件冷却至室温。其工艺路线见图 13;分别为:a. 原板料→炉中加热→(热成形+淬火)→回火整形→产品;b. 原板料→冷成形→加热炉中→整形淬火→构件;c. 原板料→炉中加热→温成形→产品;d. 原板料→冷成形→模中局部加热淬火→产品;对于工艺 a 其冷速应大于 30 °C/s,对于工艺 d 则冷速应大于 400 °C/s。目前热成形用钢有 4 种:Mn-B 系列^[13], Mn-Mo-B 系列^[14], Mn-Cr-B 系列^[14], Mn-W-Ti-B 系列^[15],B 钢的应用主要是为了提高钢板的淬透性。

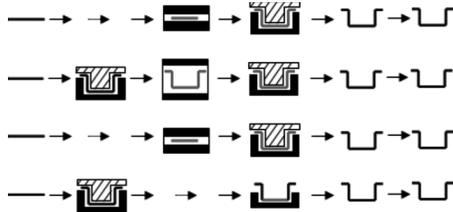


图 13 热成型的工艺路线

Fig. 13 Technology routine of hot press forming

热成形工艺较好地解决了高强度钢板成形过程中成形性差和成形精度低的问题。具有 a. 降低成形设备吨位,获得超高强度的零件(1 000 MPa 以上);b. 降低获得复杂形状零件的难度;c. 消除回弹得到较高的尺寸精度;d. 为减重节能和提高安全性、舒适性提供了广阔的空间等优势。热成形零件在汽车上已经广泛的应用,尤其应用于汽车上的各类保安件和碰撞件的加强件,为汽车轻量化和提高安全性做出了突出贡献,其在汽车上的典型应用示于图 15。在汽车上采用热成形后,可以使零件的强度提高大约 60% ~ 300%。

为避免热成型过程中的氧化,在钢板的表面通常进行镀铝,镀铝硅合金或者镀锌等各种涂层,为保证涂层的结合力和抗氧化性,韩国 POSCO 正在开发纳米涂层。在加热时,炉子中通常通有保护气体,也有在热成形后进一步清除表面氧化的措施。热成形前后的材料性能对比列于表 4。

表 4 热成形前后的材料性能对比

Table 4 Comparison of materials properties before with after hot press forming

	屈服强度 / MPa	抗拉强度 / MPa	延伸率 / %
热成形前	417	592	23
热成形后	1 022	1 537	6

模具设计是热成型的关键技术之一,模具设计包括模面设计、模具结构设计和冷却系统液流设计,完成模具设计通常应用计算机模拟技术和相应材料

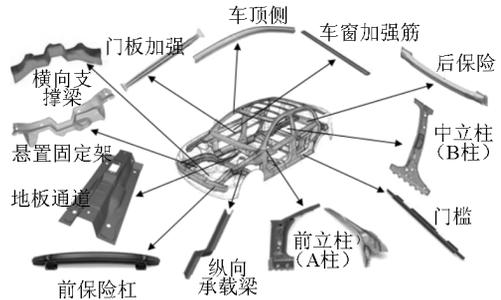


图 15 热成型在汽车零件上的典型应用

Fig. 15 Typical application of hot forming in automobile

9 结语

汽车轻量化对汽车节油,降低排放和性能改善,能源战略规划以及汽车工业健康发展都具有重要意义,汽车轻量化是现代汽车技术发展的方向。文中基于轻量化系数方程,提出了更直接的表征各种情况的轻量化设计参量—轻量化指数以及各种表达式,并阐明了各参量的物理和技术意义。汽车轻量化是通过产品结构和形状的设计优化→先进的加工技术应用→轻量化材料的合理应用来实现;设计结构优化、轻量化材料的应用以及先进的成形技术,实际是一个系

统工程。激光拼焊和液压成形是有效减少零件数量,使零件部件化,减少加工工序的有效方法和途径,在汽车轻量化中,有广泛的应用前景;高强度材料的应用,会产生加工成形困难和模具磨损增加以及回弹等诸多问题;热成型技术可以有效避免这些问题,而使材料强度的应用水平达到1 500 MPa,是解决轻量化而有保证安全的有效的加工技术。今后必然有更多的热成型零件应用在汽车工业中。

参考文献

- [1] 马鸣图,路洪洲,李志刚. 汽车轻量化和高强度钢的冷现金加工技术[J]. 机械工程材料,2008, 7:5-9
- [2] 马鸣图,柏建仁. 汽车轻量化材料及相关技术的研究进展[J]. 新材料产业,2006,6:37-42
- [3] 马鸣图,吴宝榕. 双相钢物理和力学冶金[M]. 第二版. 北京:冶金工业出版社,2009
- [4] 马鸣图. 先进汽车用钢[M]. 北京:化学工业出版社,2008
- [5] Bruno Ludke,Markus Pfestorf. 轻型车身的功能材料,汽车用钕微合金化钢板[M]. 北京:冶金工业出版社,2006 V
- [6] Bosch. 汽车工程手册[M]. 北京:学术书刊出版社,1990
- [7] 马鸣图,路洪洲,李志刚. 论轿车白车身轻量化的表征参量和评价方法[J]. 汽车工程,2009,31(5):403~406
- [8] Wang Qiaolu. New transportation fuels and advanced vehicle technologies[R]. Beijing:Issues and Life - Cycle Results, in the New Energy Potentials, 2008
- [9] Zhang Mei, Fu Renyu, etc. Development of the micro - alloyed trip Steels and properties of their laser welded blanks[J]. Iron and Steel, 2005,1:754 - 758
- [10] Ohjoon Kwon, Sueng Chul Baik. Automotive Steels Production & Technology[M]. Lecture at China Automobile Engineering Research Institute,2006
- [11] 苑世剑. 哈工大内高压成形技术[R]. 哈尔滨:哈工大液力成形中心,2008
- [12] Magna IHV Bopfingen. Hot - Hydroforming[R]. 重庆:中国汽车工程研究院,2007
- [13] 王利,杨雄飞,陆匠心. 汽车轻量化与高强度钢板的合理选用[A]. 中国汽车工程学会汽车材料分会第十五届年会论文集[C]. 江阴,2006
- [14] Markel Jonsson. Hot stamped technology boron steel [R]. 重庆:中国汽车工程研究院,2007
- [15] POSCO HPF 技术[R]. 重庆:中国汽车工程研究院,2007
- [16] Hoffmann H, So H, Steinbeiss H. Design of hot stamping tools with cooling system[J]. Annals of the CIRP, 2007, 56:269 - 272

On the lightweighting of automobile

Ma Mingtu¹, Yi Hongliang², Lu Hongzhou¹, Wan Xinming¹

(1. China Automobile Engineering Research Institute, 400039 Chongqing, China;

2. Pohang University of Science and Technology, 790784 POSCO, Korea)

[Abstract] This paper elaborates on the significance, description parameters, evaluation methods, and implementation ways of the lightweighting of automobile. Lightweighting design, the relationship between the performances of auto parts & components and the property parameters of materials, and the application of advanced forming technique are also elaborated. According to recently related progress of lightweighting and author's working, lightweighting of automobile are comprehensively and systematically overviewed.

[Key words] lightweighting of automobile; evaluation methods; description parameters; performances of parts; property parameters of materials; forming technique