



汽车用板材及其成形技术的研究进展

东风汽车有限公司工艺研究所 (湖北十堰 442001) 李飞鹏 张宇

TSLIP A

板材是生产汽车的主要材料(冲压零件约占轿车总质量的25%),其开发以高性能为重点,包括高的工艺性(成形性、焊接性、涂漆性等)、高耐腐蚀性以及高强度化,尽量满足汽车轻量化和环保的要求。车体耐蚀钢板多采用热浸镀锌合金化钢板(GA板),门板等覆盖件一般采用340MPa(TS)级的烘烤硬化钢板,加强梁类零件过去以440MPa(TS)级以下钢板为主,现已开始大量使用590MPa(TS)级钢板,而车架零件有望采用590~780MPa(TS)级钢板。

用镀铝钢板正在被不锈钢所代替,通常采用铁素体不锈钢。日本川崎的研究表明:在铁素体不锈钢中添加Mo和Cu可以提高抗蚀性。通过对镀铝钢板、409L、439L、430J1L和436L进行实验对比,发现436L和430J1L具有更好的耐蚀性。而实际使用结果表明,430J1L的抗蚀效果最好。

一、耐腐蚀钢板

1. 镀锌钢板

为进一步提高镀锌钢板的综合性能,日本住友金属开发了一种新的镀锌钢板(EGV),其镀层成分为Zn、Co及有机添加剂,附着量为 $30\text{g}/\text{m}^2$ 。通过与Zn-Ni(20)、Zn-Ni(30)、GA(60)和EG(60)等镀锌钢板的对比试验可知,EGV镀锌钢板兼有Zn-Ni合金镀锌钢板、纯锌镀锌钢板、合金化镀锌钢板的优点,既具有良好的耐腐蚀性(点蚀、面蚀),又有良好的焊接性、油漆性和冲压性,是一种比较理想的汽车车体用镀锌钢板。

2. 镀铝钢板

镀铝钢板是汽车燃油箱的主要材料之一,但铅污染严重。为此日本川崎开发了一种代替镀铅钢板的燃油箱用镀锌钢板。它是一种双面涂有树脂膜的合金化镀锌钢板,用于燃油箱外表面的一侧涂 $1\mu\text{m}$ 厚的润滑树脂层,而用于燃油箱内表面的一侧涂 $5\mu\text{m}$ 厚的含金属粉末的环氧树脂层。其工艺性能(缝焊性、点焊性、铜焊性、冲压成形性及油漆性等)与镀铅钢板接近,而耐腐蚀性能优于镀铅钢板,完全可以满足燃油箱生产的要求。据报道,不含铅的镀铝钢板也在替代镀铅钢板用于燃油箱。

3. 镀铝钢板

随着环保及使用寿命提高的要求,汽车消声器

二、高强度钢板

1. 高强度钢板

日本在车身零件上应用高强度钢板始于20世纪70年代,受石油危机的影响其使用率越来越高。主要钢种有:含磷钢板及烘烤硬化钢板、双相钢(马氏体-铁素体)、析出强化钢及相变诱导塑性钢等。采用高强度钢板的目的是减重、降低成本、提高碰撞安全性和零件的抗疲劳性。高强度钢板的应用最先从外表面件开始,然后是内部零件和结构件。据JDDR调查,1980年采用高强度钢板的比例是8.7%,1992年为23.3%,估计不久将达到42%。目前,车身外表面件钢板的强度级别为280~360MPa,内表面件为280~410MPa,结构支撑零件已达800~1000MPa。使用高强度钢板的主要问题是成形工艺困难、零件回弹、可焊性下降以及厚度减薄导致刚度下降等。

2. TRIP钢

为减重和提高抗冲击性能,法国USINOR公司开发出了系列高强度钢板,其主要性能见表1。

表 1

物理含义	σ_y/MPa	σ_s/MPa	$\delta(\%)$	$\delta_{T_{50}}(\%)$	r	n	BH值
HSLA360	421	502	24.8	14.3	1.01	0.136	—
HSLA460	471	667	23.6	14.5	0.99	0.138	—
DP450	266	494	29.6	20.1	1.06	0.211	55
DP500	285	599	26.5	19.3	0.99	0.198	49
DP600	321	627	25.7	19.4	0.96	0.182	47
DP750	390	766	17.4	13.0	0.88	0.138	101
TRIP800	503	831	27.6	21.5	0.93	0.236	97



研究表明 TRIP800 (冷轧) 具有良好的成形性能, 实际成形能力接近 DDQ 的水平, 但当 TRIP 钢的强度超过 800MPa 时, 成形能力显著下降。TRIP 钢能更多地吸收冲击能, 特别适于碰撞罩、保险杠等抗冲击类零件。

3. 卡车大梁用钢

日本钢管 (NKK) 开发的 780MPa 级 (热轧) F-M 双相钢 (DP 钢) 和贝氏体析出强化钢 (PH 钢) 的主要性能参见表 2。

表 2

材料	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ (%)
DP780	654	813	24
PH780	730	822	23

这两种钢都具有良好的成形性能和抗疲劳性能, DP 钢的疲劳强度 (光滑试样) 为 600MPa, PH 钢为 640MPa。试验表明, 表面带氧化皮的钢板, 其疲劳强度与表面粗糙度有很大关系, 表面粗糙度越低则疲劳强度越高; 冲孔表面粗糙度也影响疲劳强度, 表面越光滑则疲劳强度越高。

4. 各向同性高强度钢 (I-Steel)

德国 SALZGITTER 开发了 I-Steel 钢板 St250i ($\sigma_s = 256$ MPa, $\sigma_b = 350$ MPa, $r = 1.1$, $\Delta_r = 0.2$, $n = 0.21$)。试验表明钢板的成形性能优于 DDQ 级的 DC04 钢板, 成形极限试验显示该材料具有更高的成形潜力。由于 St250i 钢板具有各向同性和高屈服强度, 适于车门、顶盖及前挡板等零件。

5. 高强度钢板在超轻车门上的应用

超轻钢质车身 (ULSAB) 于 1997 年开发成功, 随后成立了代表全世界钢铁生产厂家的超轻钢质汽车覆盖件 (ULSAC) 合作组织。PES 被授权指导汽车覆盖件的基础设计研究, 而由此设计出的汽车覆盖件不仅要有坚固的结构, 同时还要具有低廉的成本。这项工作于 1998 年 12 月进入试验阶段, 2000 年春制造出了具有冲压门外板特征的门结构组件, 并且进行了结构特性、抗凹性和油密封试验。与目前的无框架门结构特性进行比较, 质量减轻 22% ~ 42%。该门结构组件所采用的高强度钢板是: BH210、BH260 和 DP600, 同时采用了特制管材、液压成形等技术。

6. 高强度钢板在液压成形中的应用研究

以双相钢 DP590 ($\sigma_s = 325$ MPa) 和高强度低

合金钢 HSLA340 ($\sigma_s = 351$ MPa) 为材料, 采用液压成形工艺制造轻型卡车的侧梁。计算机模拟分析液压成形过程表明: DP 钢在成形过程中应变分布更均匀, 碰撞性能更好, 能量吸收比 HSLA 高约 29%, 胀形和碰撞时具有更好的抗弯皱性能。

三、铝合金板

铝合金是实现汽车轻量化目标的材料之一。日本于 1985 年开始采用铝合金板材生产汽车覆盖件, 应用的零件主要是发动机罩 (里板和外板)、前挡泥板及顶蓬窗盖板等。1990 年本田生产出了全铝车身汽车。目前所使用的铝合金板主要有可热处理的 2000 系列 Al-Cu 合金及 6000 系列 Al-Mg-Si 合金、不热处理的 5000 系列 Al-Si 合金。铝合金板用于汽车的主要问题有: 强度比钢低、弹性模量低 (只有钢的 1/3)、成形性能不如软钢、表面易划伤、表面质量不易控制、材料价格比钢高, 以及非磁性的铝不能采用传统的钢板运输系统等。因此迫切需要开发成形性能好的铝合金板材和合适的铝合金成形技术。

四、复合钢板

复合钢板用于汽车的主要目的是减重和降噪。目前已实用化的主要是“三明治”结构板材, 其中钢-树脂膜-钢复合减振钢板已大量用于油底壳及气缸盖罩等部件。最近美国 U.S. Steel Research 对钢 (0.22mm)-树脂芯 (0.28 ~ 0.51mm)-钢 (0.22mm) 复合钢板的成形性进行了试验研究, 其材料密度为 4 ~ 5g/cm³, 抗拉强度可达 170 ~ 250MPa, 总伸长率为 25% ~ 42%, r 值为 1.53 ~ 1.65, n 值为 0.13 ~ 0.20, 弯曲刚度与普通钢板相当。可用于汽车的地板、挡泥板、轮罩及内加强板等零件, 同时还具有减振和隔声的作用。

五、板材成形技术

随着汽车工业的发展, 板材成形技术成为车身制造技术的核心, 当前的主要课题是:

- (1) 轻量化材料、高强度钢和铝合金板材的冲压成形。
- (2) 激光拼焊钢板的冲压成形。
- (3) 新成形技术的应用 (如液压成形、压边力控制等)。



(4) 有限元模拟技术在模具制造和冲压工艺上的应用。

1. 高强度钢板的成形技术

材料强度提高,其成形性能下降,因而在模具设计及制造阶段,需采取以下措施:

- (1) 上下模之间清理调整。
- (2) 采取防止划伤的有效对策,如模具材料的合理选择和工具表面的处理。
- (3) 工具刚度和强度增加。
- (4) 考虑回弹的模具设计。
- (5) 拉延筋强度。
- (6) 多次成形补充。
- (7) 产品形状改变。
- (8) 成形工艺改进。

2. 激光拼焊钢板的成形技术

在传统的冲压中,大尺寸面板由几块小零件组成,冲压完成后再焊接成一个部件。如果大尺寸部件由一块板料组成,可降低冲压成本和装配成本,并可获得更精确和更干净的面板。激光拼焊板由几块不同厚度、不同强度和不同性能的钢板用 CO₂ 气体激光焊接而成。目前在日本及欧美,激光拼焊板已实际应用于汽车零件的批量生产中。

3. 液压成形

板材成形本质上适用于批量生产,然而汽车需求日益呈现多样化和小批量的特点,处理好这种矛盾变得重要起来。在汽车零件小批量生产中,模具成本占很大比重,降低模具成本是关键。一种新研发的成形系统——液压成形应运而生。其中,反向拉深(一种液压成形工艺)的特征如下:

- (1) 提高深拉深能力。
- (2) 提高成形零件的形状和表面精度。
- (3) 降低模具成本。

4. 控制压边力

压边力通常被适当的设置在无破裂、起皱和表面缺陷的范围。在复杂形状面板的冲压中,恒定压边力工艺很难阻止成形缺陷,原因是:避免破裂需要低压边力,阻止起皱和表面缺陷需要较高压边力。通过控制成形中的压边力提高成形零件质量,已在车身零件的实际冲压中得到证明。通过数字化模拟预测优化模式是有效的,而且会在不久的将来实现。

据介绍,随着大尺寸面板冲压的增多,大型自

动化压力机被用于提高生产率。同时,带气垫的载荷均衡系统被开发且被实际安装,通过数字化控制模具气垫,即使在单动压力机上,也可以控制压边力。

5. 其他成形工艺

控制工具温度是提高压力行为的可行技术。在加热成形工艺中,凹模和压边圈被加热,而冲头被降温,实际用于不锈钢板的成形。该技术也适于高强度钢板、铝合金以及刚塑性轧制钢板等难成形材料。

6. 润滑技术

润滑技术是成功的冲压技术中一项很重要、很基本的技术,特别是用难成形板材加工车身零件时。提高板材成形能力的有各种附加剂、润滑剂和固体薄膜润滑剂。

7. 有限元模拟分析的应用

计算机技术的快速发展提升了计算机辅助工程设计和工具制造的实际应用。模具制造中 CAD/CAM 系统的引入,可减少设计和车身研发的准备时间,实现车身质量和稳定性的提高。板材成形模拟是 CAE 系统一个重要因素,模拟方法包括成形法和几何分析法。基于塑性理论和数字模拟的基本分析法叫有限元模拟法。它在车身零件冲压准备阶段特别有效,不仅是在成形预先估计方面,而且在新板材研发和新成形工艺方面均有较好的应用价值。

JDDR 的 14 家公司中已有 12 家在冲压过程中引入有限元模拟法,其算法有静态显式、静态隐式和动态显式几种。7 家公司用该法来评估材料的成形能力和冲压准备阶段的成形能力。

六、超轻钢制车身 (ULSAB)

ULSAB 项目由 18 个国家的 35 个钢铁公司共同完成。通过采用高强度钢及复合材料,并以先进制造工艺最终获得的超轻钢制车身的实际性能指标如下:白车身质量 203kg (原平均 271kg);白车身初始工况 51Hz (原 38Hz);抗扭刚性和抗弯刚性都显著提高。由此可见,不仅质量降低了 25%,而且刚性大大提高。超轻钢制车身采用的材料主要是 IF 钢板、BH 钢板、TRIP 钢板以及复合材料,其中高强度钢占 66%。在制造技术方面主要采用了激光拼焊毛坯技术、液压成形技术、热成形技术、焊接-粘接技术、连续激光焊组装技术及薄壁真空浇注技术等。

(20030512)