

新能源汽车EPP轻量化座椅的开发和应用

张曦

东风延锋汽车座椅有限公司 湖北武汉 430058

摘要：随着“双碳战略”和绿色可持续发展理念的日益深入，节能、环保成为汽车产业的发展趋势。发泡聚丙烯（EPP）以其质轻、隔热、缓冲等优点，在汽车座椅轻量化中具有广泛的应用前景。EPP轻量化座椅是将钢丝骨架置于模腔内成型，使EPP与其紧密粘结。不同材料的热膨胀系数差别会引起残余应力分布不均匀，影响制件的最终精度和性能^[1]。通过改变零件成型状态、预压时间等多个参数，研究内嵌钢丝骨架在EPP成型后的变形情况。结果表明：热状态下采用定型工装定位，定型时间1h，定位工装下支撑面为负公差10mm，钢丝骨架尺寸控制效果最佳。

关键词：EPP；座椅；轻量化

2018年4月，中国汽车行业正式开始施行双积分政策，节能、环保成为汽车行业最重要的发展趋势之一，特斯拉、比亚迪等新能源车型成为市场的新宠儿。为满足新能源汽车轻量化需求，汽车座椅通过采用高分子聚合物材料代替传统金属骨架，可以在大大降低座椅重量的同时呈现良好的耐腐蚀性和绝缘性，在减振、耐磨和隔音方面也表现良好^[2]。

EPP材料

发泡聚丙烯材料（EPP，Expanded Poly Propylene）是一种高结晶型聚合物和气体复合材料。随着材料、制造技术的进步，按用途和工艺方法开发出不同密度及孔径的EPP材料。EPP一般为闭孔发泡材料，具有优

异的抗振、吸能和隔热性，形变后恢复率高，耐化学腐蚀和耐油性及可降解性也很突出，被称为“绿色”泡沫材料，成为继传统的聚苯乙烯泡沫（EPS）、聚氨酯泡沫（EPU）及聚苯乙烯泡沫（EPE）材料之后的新一代环保泡沫材料，具有广泛的应用前景^[3-7]。EPP近年来在汽车行业作为内、外饰材料的应用日趋扩大。其中EPP片材主要应用于汽车顶棚、发动机舱的内衬隔音材料及备胎舱盖等，另一类则是由EPP珠粒料模压而成的部件，包括遮阳板、头枕、内门板、保险杠吸能块及备胎座等。

PMH技术

聚合物-金属组合成型（PMH，Polymer Metal

Hybrid) 技术是通过加热、成型等方法将热塑性高分子聚合物与金属基体紧密结合, 形成不可分离的聚合物—金属复合物成型工艺^[8]。目前, 聚合物-金属组合成型技术得到了越来越广泛的应用, 高强度、低重量的聚合物金属组件正在逐步取代全金属部件, 特别是在汽车、航空、医疗和电子器件等领域。如汽车行业中的前端模块、座椅、仪表板、前后车门总成及保险杠横梁等。奥迪公司在1996年最先将PMH技术成功应用到前端模块中, 使用聚酰胺弹性体 (PA6+30%GF) 与金属结构通过一体注塑成型, 该PMH前端模块提供了优于两种材料中任意一种的结构性能, 该技术的使用降低了前端模块30%的重量和25%的成本, 同时与以前的系统相比, 减少了20个部件, 与传统钢支架相比, 其NVH性能也得到改善^[9]。

EPP轻量化座椅

PMH组件在冷却收缩过程中, 由于不同材料的热膨胀系数有差别, 引起残余应力分布不均匀, 进而影响制件的最终精度和性能。传统注塑成型工艺中残余应力来源于产品冷却不均匀, 注塑件壁厚差异较大, 材料冷却收缩时受到模具表面的约束等。PMH组件在直接组合成型过程中, 由于聚合物始终粘附在金属冲压件上, 两者在冷却收缩时不会发生分离, 这将加剧残余应力的产生和发展^[10-14]。残余应力是影响产品外观和性能的重要因素, 它可以引起产品翘曲变形、开裂等, 对结构的静强度、疲劳强度、稳定性、刚度及应力腐蚀开裂等均存在较大影响。

1. 钢丝骨架内嵌后坐垫EPP成型尺寸控制现状

钢丝骨架内嵌后坐垫EPP结构, 即将坐垫钢丝骨架放置于EPP模具型腔内, 与EPP一起成型, 如图1所示。EPP本体在成型的过程中, 可以根据产品尺寸调整EPP收缩率, 从而得到尺寸控制在公差范围内的产品, 实现正常装车。

但是将坐垫钢丝骨架总成放置于EPP模具型腔内成型时, 由于EPP与钢丝骨架的热膨胀系数差别引起残余应力分布不均匀, 会导致产品翘曲变形 (见图2), 严重影响后坐垫与车身地板的正常装配。



图1 钢丝骨架内嵌后坐垫EPP示意

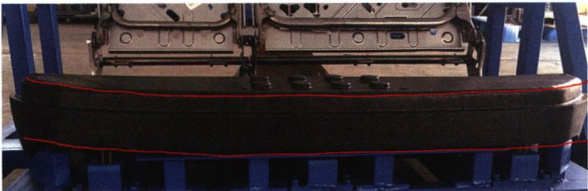


图2 钢丝骨架内嵌后坐垫EPP翘曲变形

2. 钢丝骨架内嵌后坐垫EPP在Y方向变形的影响因素

钢丝骨架内嵌后坐垫EPP产品在Y方向翘曲变形严重, 通过改变零件环境状态、预压时间、预压工装方式几项因素予以改善。其中, 零件出模蒸汽温度135℃, 使用检具如图3所示, 检测1、2、8、9控制点Z向尺寸。具体方案见表1。

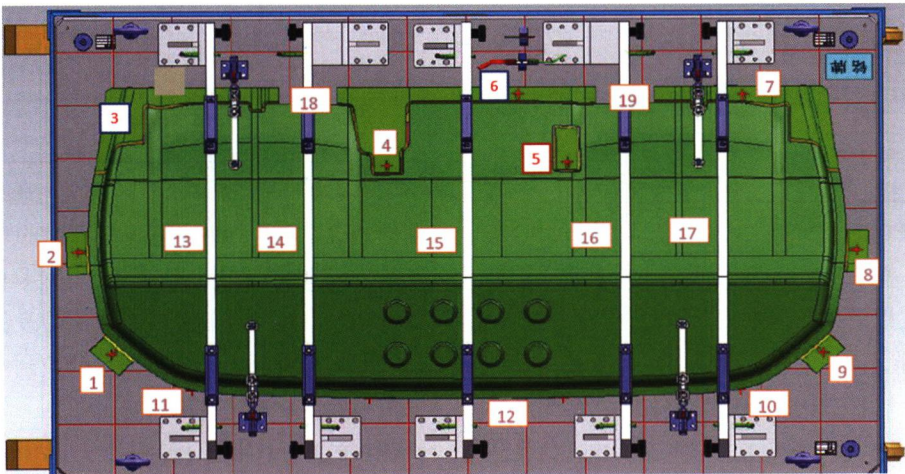


图3 钢丝骨架内嵌后坐垫EPP产品检具

表1 几种方案对产品尺寸控制对比

方案	零件环境状态	预压方式	预压时间
方案1	零件刚生产出来/常温 钢丝截2段	不施压	/
方案2	零件刚生产出来/常温 钢丝截2段	工装	8h
方案3-1	零件刚生产出来/常温 钢丝未截断	50kg重物/两端各 25kg	2h
方案3-2	零件刚生产出来/常温 钢丝截2段	50kg重物/两端各 25kg	2h
方案4	零件刚生产出来/常温 钢丝未截断	25kg重物压中间	4h
方案5	零件冷却后30min 钢丝未截断	50kg重物/两端各 25kg	4h

对比图3检具中1、2、8、9控制点在Z方向的变形量，测量结果见表2。

表2 几种方案对产品尺寸控制测量结果（单位：mm）

方案	检 测 结 果			
检测规范	点1（0±2）	点2（0±2）	点8（0±2）	点9（0±2）
原状态	9.0	6.0	-2.8	0.0
方案1	5.5	3.0	1.0	2.0
方案2	4.0	4.0	0.0	1.0
方案3-1	1.0	-3.0	-6.0	-4.0
方案3-2	0.0	-4.0	-6.0	-4.0
方案4	5.0	5.0	2.0	2.0
方案5	5.0	4.0	2.0	2.0

从表2的测量结果分析，对比1、2、3-2方案可以发现，在热状态（蒸汽温度135℃）下，使用工装或者重物在产品成型过程中预压，可以有效改善产品控制点在Z方向的变形量。对比3-1、4、5方案，在均使用重物预压的条件下，热状态比冷却后的状态对产品的尺寸控制效果更佳。而通过对比3-1、3-2两个方案，结果显示钢丝截断与否对于最终产品的尺寸变形影响不大。

为了保证后坐垫EPP总成的刚性连接，在尺寸控制相差不大的情况下，钢丝采取不截断的方式更有利于产品的力学性能的实现。

3.预压时间对钢丝骨架内嵌后坐垫EPP成型的影响

从前面的检测结果分析，零件在刚生产出来的热状态（蒸汽温度135℃）下使用工装预压，对最终EPP产品的尺寸控制效果最佳。本小节主要研究了不同预压时间0.5h、1h、8h对产品尺寸控制的影响，具体方案见表3。

表3 预压时间0.5h、1h、8h对产品尺寸控制方案对比

方案	零件环境状态	预压方式	预压时间/h
方案6	1.零件刚生产出来/常温 2.钢丝未截断	工装	0.5
方案7	1.零件刚生产出来/常温 2.钢丝未截断	工装	1
方案8	1.零件刚生产出来/常温 2.钢丝未截断	工装	8

方案6、7、8中，检测1、2、8、9控制点在Z向变形量测试结果见表4。

表4 预压时间0.5h、1h、8h对产品尺寸控制测量结果（单位：mm）

方案	检 测 结 果			
检测规范	点1（0±2）	点2（0±2）	点8（0±2）	点9（0±2）
方案6	2.0	4.0	0.0	5.0
方案7	2.0	3.0	3.0	0.0
方案8	6.0	4.0	3.0	3.0

从表4中的检测结果可以发现，在其他控制条件相同的情况下，预压时间对最终产品的尺寸控制有较大影响。在预压时间由0.5h增加到1h过程中，随着预压时间的增加，尺寸控制效果有明显的改善趋势，而当预压时间从1h到8h时，产品的尺寸控制反而有所减弱。对比上述三个预压时间的改善效果，当预压时间为1h时最有利于产品的尺寸控制。

综上所述，方案7可行性最高，1、2、8、9四处的

尺寸偏差从10mm控制到3mm左右，最终的EPP产品尺寸控制效果最优，经过实际装车验证，可以达到预期效果。后续定型采用：零件成型后热状态（蒸汽温度135℃）下采用定型工装定位，定型时间1h以上，钢丝不截断，定型工装下支撑面为负公差大于10mm。

由于新能源汽车的车身新增电池包结构，所以在座椅后排需要留出更大的空间，为了同时满足座椅轻量化且后坐垫下端空间足够的要求，采用EPP+发泡结构取代传统的金属骨架+发泡结构能够有效的满足上述需求。经过验证，在后坐垫前端加长31mm的情况下，坐垫总成重量减轻28.5%，见表5。与此同时，由于全EPP结构均匀布置于坐垫前端，使座椅具有更好的放下潜效果。

表5 EPP代替金属骨架前后的后坐垫重量对比
(单位/kg)

	EPP总成	骨架总成	发泡总成	面套总成	总计
金属骨架+发泡		6.26	2.6	1.61	10.47
EPP+发泡	2.9		2.98	1.61	7.49

结语

本文通过改变零件环境状态、预压时间及预压工装方式等方面控制因素，研究了钢丝骨架内嵌后坐垫EPP产品的翘曲变形量，在钢丝刚生产出来的热状态（蒸汽温度135℃）下，使用工装预压，定型时间控制在1h以上，可以有效控制产品尺寸在设计定义的公差范围内，不影响座椅的正常装车需求。但是对于PMH关键技术的研究大多是一些定性的分析，仍然需要量化和更多试验数据的分析与研究。与此同时，PMH组件使用的持久性、生命周期后期材料分解、回收利用等问题都有待于更加深入的研究。

参考文献：

[1] FABRIN P A, HOIKKANEN M E, VUORINEN J E. Adhesion of thermoplastic elastomer on surface treated aluminum by injection molding[J]. Polymer Engineering and Science, 2007, 47 (8) : 1187-1191.

[2] 胡广洪, 杜彦丽. 聚合物-金属组合成型及其关键技术[J].上海塑料, 2015, (4) : 6-10.

[3] 贾秀峰, 马懿, 孙颜文, 等.国内外聚丙烯发泡材料的发展概况[J].化工新型材料, 2001, 29 (8) : 1-4, 20.

[4] 熊丽君, 吴壁耀.发泡聚丙烯材料的研究生产现状[J].化工新型材料, 2004, 32 (2) : 8-10, 22.

[5] 谷正, 杨淑静, 宋国君, 等.聚丙烯发泡材料的生产现状及应用[J].现代化工, 2007, S (1) : 24-28, 30.

[6] 杨淑静, 宋国君, 余希林, 等.高熔体强度聚丙烯的发泡性能研究[J].工程塑料应用, 2007, 35 (12) : 33-38.

[7] 霍力超, 吴青, 金宇.聚丙烯发泡塑料的研究和应用[J].化学工程师, 2008, 153 (6) : 39-41.

[8] 樊聪, 胡广洪, 凌成智. 聚合物-金属直接成型技术[J].上海交通大学学报, 2018, 52 (2) : 176-181.

[9] 雷发桂. 基于玻纤增强PMH技术注塑成型工艺对力学性能影响的研究[D].湖南大学, 2017.

[10]GRUJICIC M, SELLAPPAN V, PANDURANGAN B. Computational analysis of injection-adhesion polymer-to-metal hybrid body-in-white components[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 203 (1-3) : 19-36.

[11]WAN K, PRIMA A D, YE L. Adhesion of nylon-6 on surface treated aluminum substrates[J]. Journal of Materials Science, 1996, 31 (8) : 2109-2116.

[12]GRUJICIC M, ZHAO C L, DUSEL E C. The effect of thermal contact resistance on heat management in the electronic packaging[J]. Applied Surface Science, 2005, 246 (1-3) : 290-302.

[13]ZHNG G, KENNEDY P. Thermoviscoelastic simulation of thermally and pressure-induced stresses in injection molding for the prediction of shrinkage and warpage for fiber-reinforced thermoplastics[J]. Non-Newtonian fluid Mechanics, 1999, 84 (2-3) : 159-190.

[14]WENABLES J D. Adhesion and durability of metal-polymer bonds[J]. Journal of Materials Science, 1984, 19 (8) : 431-2453. **AUTO1950**