



国际自动机工程师学会 (SAE INTERNATIONAL) 授权出版



北京理工大学“985工程”国际交流与合作专项资金资助图书

The Multi Material Lightweight Vehicle (MMLV) Project

多材料轻量化车辆 设计与测试

[美] 蒂莫西·思凯泽克 (Timothy Skszek)

[美] 杰夫·康克林 (Jeff Conklin)

[美] 马特·扎鲁泽克 (Matthew Zaluzec)

[美] 戴维·瓦格纳 (David Wagner)

主编

王扬卫 韩维文 陈瑶 译





The Multi Material Lightweight Vehicle (MMLV) Project

多材料轻量化车辆 设计与测试

[美] 蒂莫西·思凯泽克 (Timothy Skszek)

[美] 杰夫·康克林 (Jeff Conklin)

[美] 马特·扎鲁泽克 (Matthew Zaluzec)

[美] 戴维·瓦格纳 (David Wagner)

主编

王扬卫 韩维文 陈瑶 译

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

多材料轻量化车辆设计与测试/ (美) 蒂莫西·思凯泽克 (Timothy Skszek) 等主编; 王扬卫, 韩维文, 陈瑶译. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.4
书名原文: The Multi Material Lightweight Vehicle (MMLV) Project
ISBN 978-7-5682-3996-7

I. ①多… II. ①蒂… ②王… ③韩… ④陈… III. ①汽车轻量化—研究
IV. ①U462.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 096354 号

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2016-4544

Originally published in the English language by SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA, as *The Multi Material Lightweight Vehicle (MMLV) Project*, Copyright © 2015 SAE International.

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 15.75

彩 插 / 16

字 数 / 318 千字

版 次 / 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 78.00 元

责任编辑 / 刘永兵

文案编辑 / 刘 佳

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

致 谢

非常感谢麦格纳国际公司 (Magna International Inc.)、福特汽车公司 (Ford Motor Company)、魏玛工程公司 (Vehma Engineering) 以及魏玛原型公司 (Vehma Prototype) 和福特高级工程管理研究所所有员工的贡献和努力。此外,我们还要感谢美国能源部车辆技术办公室的财政支持和指导。

本书基于美国能源部(DOE)国家能源技术实验室(NETL)所资助的决标编号为 DE-EE0005574 的论文集。

本书根据美国政府机构所发起项目的工作成果编写而成。无论是麦格纳国际公司 (Magna International Inc.)、福特汽车公司 (Ford Motor Company) 或者美国政府, 还是其下属任何机构或任何员工对本书所表述的任何信息、设备、产品以及工艺应用的准确性、完整性或有用性, 以及其他没有侵犯私有权的表述不作任何保证 (无论是明示、暗示还是承诺), 并且也不承担相关的任何法律责任或义务。书中通过商品名称、商标、制造商或以其他方式提及的所有具体商业产品、工艺或服务, 并不代表美国政府或其下属任何机构指定或暗示对其予以认可、推荐或支持。作者在书中的表述并不一定代表或反映美国政府或其下属任何机构的观点和看法。这种支持并不代表能源部对作品或所表述意见的认可。

此外, MMLV 项目团队还要感谢对项目做出贡献的所有供应商们的努力和发挥的创造性。我们期待通过共同的努力来降低这些技术在未来车辆中的应用成本和风险。

向以下供应商致谢

车身结构	音响组件	车身连接	夹层窗玻璃
MAGNA-Vehma 原型 PPG 汽车涂料	Autoneum 北美公司	Henrob E-Jot Huck Alcoa 紧固件公司 Lord	Corning 股份有限公司 SALGLAS. ZRt.
发动机	车身铸造	轮胎	聚碳酸酯玻璃
Fraunhofer 美国 Conner 工程技术 Anderson 全球 ASK 化学制品 Wolverine Bronze Manitowoc 铸造厂 Hexion	MAGNA-Cosma 铸造	Michelin 北美公司	SABIC

续表

BASF Montaplast WGS MAGNA-传动系 高性能工程材料公司 美国辉门公司 COMAU	 <p>图片来源：福特汽车公司 (Ford Motor Company)</p>		
前副车架	前排座椅	铝合金车轮	车门铰链
MAGNA-Cosma 铸造公司 MAGNA-Promatek Sapa 型材美洲	Eicher 工程技术解决 方案公司	Maxion 车轮	Multimatic 公司
变速器	仪表盘	碳纤维车轮	玻璃胶
精密线路公司 MAGNA-传动系	Eicher 工程技术解决 方案公司	碳革命私人有限公 司	Dow 机动车系统 Sika
钢弹簧和稳定杆	复合弹簧	制动盘	车门密封
NHK 弹簧集团公 司	Sogefi 集团公司	Crescent Pattern 地铁技术公司 Midwest 热喷镀公司	库博标准汽车配件公 司 3 M 公司

引言



斯瓦米·科塔吉里 (Swamy Kotagiri)
麦格纳国际公司 (Magna International Inc.)
首席技术官

由美国能源部资助的多材料轻量化汽车 (MMLV) 研究项目是麦格纳国际公司 (Magna International Inc.) 与我们的长期客户福特汽车公司 (Ford Motor Company), 为整个行业在汽车轻量化方面所面临的挑战性问题而进行协作提供了一个很好的机会。这也是我们在保证 2013 款福特 Fusion 基准车型车内乘员的安全性及车辆动力学和 NVH 特性的同时, 着手研究轻量化 C/D 级乘用车的减重潜力和环保效益的重要原因。

MMLV 项目的研究方法包括设定与每个主要子系统和全面减重车型相关的质量和性能目标, 使麦格纳国际公司和福特汽车公司的设计团队在实施整车耐久性、疲劳强度和安全性能设计之前, 同时进行车辆子系统的设计。项目的研究范围包括 7 种原型车的制造, 据此将组件限定在一定的数量范围之内, 并实现车辆层面的物理测试。通过保持 C/D 级汽车基准硬点的设计策略, 从而有机会整合沿用零件并组装全功能可驱动原型以进行测试和评估。项目总体包括在 24 个月的时间段内进行工程设计、样件制造和测试。

生命周期评估 (LCA) 是由第三方 LCA 专家通过对比 MMLV 和 2013 款福特 Fusion 在“从摇篮到坟墓”的 25 万公里 (155 000 mile^①) 使用寿命期间对环境的影响来进行的。评估结果超出了我们的预期, 尤其是其在全球变暖潜能和能源利用方面的明显优势。MMLV 项目彰显了整车轻量化技术结合小型化、高输出的发动机在减少温室气体排放和降低总能耗方面的潜在优势。2015 年在 SAE 世界大会上所展示的和本书所包含的 MMLV 方案都提供了由麦格纳国际公司和福特汽车公司合作进行的轻量化研究相关的技术基准。虽然这只是一个研究原型, 但我们相信, MMLV 项目为未来的可持续发展和使这些轻量化技术应用于大批量生产指明了方向。

① 1 mile=1 609.344 m.



肯·华盛顿 (Ken Washington) 博士
福特汽车公司 (Ford Motor Company)
研究与先进工程部副总监

MMLV 项目是我为福特公司引入的研究项目之一。在此项目加入福特汽车公司 (Ford Motor Company) 前两个月,我在 2014 年 6 月的技术博览会上首次披露了该项目。从航空航天的背景来看,通过 MMLV 的创造性解决方案来减小未来乘用车和商用车质量的挑战给我留下了深刻的印象。从选择使用最高强度的钢材,到铝板型材和铝铸件的应用,直到最后明智地使用镁和复合材料,都证明了 MMLV 项目是一个在技术上可行的轻量化解决方案。

2 合作是成功的关键。随着美国能源部成为出资 50% 的合作伙伴,我们开始在较低的风险下研究、开发、制造和测试新的轻量化组件和系统。通过与麦格纳国际公司 (Magna International Inc.) 的合作,研究团队接触到了能寻求车辆减重可能性的各个领域。MMLV 项目为我们提供了未来乘用车和商用车开发方面的丰富信息。

MMLV 项目的目标是研究如何设计和构建一种混合材料,使其能够在确保达到客户对所有福特汽车所期望的安全性、耐久性和韧性要求的同时,还能够用于大批量生产轻量化整车。MMLV 项目探讨了车辆复合材料在每种应用中的正确使用。项目通过 MMLV 将 Fusion 尺寸级别车辆的质量减小到 Fiesta 尺寸级别,并且使搭载并使用 1L EcoBoost 发动机成为现实,从而进一步减小了质量并提高了燃油经济性。研究小组的成果非常令人满意。

2015 年 SAE 世界大会的论文集 (由十四篇论文构成) 记录了 MMLV 项目的设计和试验结果。我已急不可耐地希望看到这些 MMLV 技术应用在乘用车和商用车中,以及这些轻量化设计所带来的成本的降低。轻量化将会是汽车行业未来多年发展的根本方向。通过 MMLV 和其他研究项目,我们正致力于多种先进材料应用的研究,以作为福特汽车减重的潜在解决方案。

目 录

DOE 重点开发的提高车辆效率的材料 (2015-01-0405)	1
MMLV: 项目概况 (2015-01-0407)	16
白车身设计和计算机辅助工程 (CAE) (2015-01-0408)	31
MMLV: 车门设计及其组件测试 (2015-01-0409)	47
MMLV: 轻量化内饰系统设计 (2015-01-1236)	66
MMLV: 底盘设计和组件测试 (2015-01-1237)	83
MMLV: 带舱壁嵌件和铝合金连杆的铝缸体 (2015-01-1238)	101
MMLV: 碳纤维复合材料发动机零件 (2015-01-1239)	121
MMLV: 自动变速器的轻量化 (2015-01-1240)	135
MMLV: 防腐设计及测试 (2015-01-0410)	159
MMLV: 车辆耐久性设计、仿真和测试 (2015-01-1613)	173
MMLV: 碰撞安全性能 (2015-01-1614)	188
MMLV: NVH 声学包开发及整车测试 (2015-01-1615)	200
MMLV: 生命周期评价 (2015-01-1616)	213
MMLV 项目团队介绍	238
多材料轻量化汽车 (MMLV) 项目	240

DOE 重点开发的提高 车辆效率的材料

2015-01-0405

2015年4月14日发表

卡罗尔·舒特 (Carol Schutte)
美国能源部车辆技术办公室

引文: Schutte, C., “能源部重点开发的提高车辆效率的材料”, SAE 技术论文 2015-01-0405, 2015, doi: 10.4271/2015-01-0405.

版权所有© 2015 SAE 国际

摘 要

美国能源部新能源汽车技术办公室制定了对轻型与重型车辆的轻量化材料和驱动材料的要求,并找出其技术差距。本章提供了正处于开发阶段的研究示例,这些示例涉及最高优先级的技术差距,有助于理解后续论文中详细论述的多材料轻量化汽车示范项目。编写本章的目的是展示正在进行的开发项目,以便解决示范项目所发现的技术差距。

引 言

美国运输业消耗的石油占其石油消耗量的三分之二^[1]。美国道路上行驶的车辆超过 2.4 亿辆,其石油消耗量占美国运输业总石油消耗量的 85% 左右。减少对石油的依赖不仅有利于提高经济和能源的安全性,而且有利于对环境提供负责任的管理。减少美国对石油的依赖并降低温室气体排放是美国能源部 (DOE) 车辆技术办公室 (VTO) 的目标。

为了减少美国的石油消耗,美国能源部将目光聚焦于替代燃料的使用、电

气化以及显著提高车辆的燃油效率等方面。车辆技术办公室（VTO）材料领域小组在保证车辆性能和安全性要求的同时，力求通过有效地降低车辆的质量成本来提高车辆的效率，并且通过以下措施来提高传动系效率：

- （1）增强先进的高强度钢、铝、镁以及碳纤维复合材料的性能；
- （2）开发可实现多种材料设计和制造的连接技术；
- （3）开发能够使用轻量化材料进行设计与研发的集成建模和计算工具；
- （4）开发使发动机能够在更苛刻的条件下和更高效率的范围内运行的性能优异的驱动材料。

美国能源部轻量化材料投资战略^[2]聚焦于那些具有较大减重潜力的结构材料。特别是本文所提及的与镁、碳纤维复合材料和先进高强度钢相关的工作。美国能源部的战略还包括增加这些材料实际应用的可能性，其中包括预测建模、多材料连接和腐蚀的有效缓解。

美国能源部在驱动材料方面的战略重点是通过开发新的合金材料来提高能效，以满足未来发动机的需要^[3]。例如：当前发动机材料仍无法承受预期的气缸压力工作峰值和温度。

2
多材料轻量化汽车（MMLV）项目可作为美国能源部向车辆轻量化方向努力的基石。MMLV Mach-I 的设计、建造和测试活动在结构轻量化的一些研发方向进行了验证。此外，MMLV Mach-II 的设计为极致轻量化材料的应用解决方案确定了方向，尽管在现阶段这些解决方案尚未完全成熟，或对于广泛应用来说并不具有成本效益。2015 年 SAE 国际大会的下述论文将详细说明 MMLV 项目所取得的成就，而本书则只给出 MMLV 项目的协作项目的概述，这可能有助于针对 MMLV 项目所确定的技术差距提出解决方案。

产品组合强调镁、碳纤维复合材料以及先进高强度钢（AHSS）的技术成熟度，这包括从低成本的原料供应、性能的改进、低成本的加工乃至对成分/性能和加工/结构关系都能提供可靠预测的计算工具。此外，在为满足动力总成所需而开发的超级合金材料方面，气缸盖要求采用新型铝合金，而诸如曲轴等旋转部件则要求采用新型材料。

探 讨

美国能源部（DOE）车辆技术办公室（VTO）征求了行业内、学术界和实验室专家的意见，并将其次组合聚焦在轻量化和驱动材料以及轻型^[4]和重型汽车^[5]技术差距的要求上。通过这个框架给出了在本 DOE 项目中开发的轻量化系列产品和驱动材料的轻量化性能要求。

镁

镁合金具有减小高达 70% 的结构部件质量的潜力。该专题讨论会^[6]的目标是：

(1) 到 2025 年，生产出比铝合金性能更高的镁合金，并建立一个可靠的、负担得起的且具有低二氧化碳排放生产工艺的国内供给体系；

(2) 到 2050 年，开发出能够以每千克镁 2~3 kg 二氧化碳的二氧化碳当量成本大批量生产镁的技术。

镁的高优先级技术差距

目前，大多数金属镁（在 2013 年为 87.9%）是在中国通过皮金工艺^[7, 8]生产的，这是一种能量密集型且比电解工艺对环境影响更为不利的制备工艺。如果美国汽车公司将来广泛使用金属镁，那么美国的供应基地必须能够大规模生产金属镁。此外，金属镁是极易受到腐蚀的材料。

为了有效降低腐蚀所带来的成本和风险，我们需要对腐蚀机理有更深入的认识。其他技术的缺陷包括缺少建模工具以及铸件的延展性和锻件的均匀性不足，并且我们没有修复和回收零件的基础设施。

填补一些与金属镁相关的技术差距

这些项目填补了从生产低成本的原材料到车辆子部件的整合、验证和示范等研究领域的一些技术差距。

低成本原料

为促进美国金属镁生产规模的发展^[9]，Infinium 公司正在扩大规模并利用直接单步电解氧化镁的原型系统对其进行设计、建造以及验证。这种方法的好处是能避免形成能源和资本密集型的镁氯化物的中间产物。这种直接的创新利用了精选氧化锆固态电解质，这样就将镁和纯氧的产物分离开来，从而避免了逆反应。这种寻求缩放工艺过程的努力，也使其能够应用于大规模生产。

在不需要稀土元素的情况下改进合金

镁合金一般较为昂贵，并且在发生碰撞时无法吸收足够的能量。西北太平洋地区国家实验室（PNNL）和麦格纳卡斯马国际公司（Magna Cosma International）正致力于开发一种像铝一样可以吸收能量的低成本锻造镁合金，它在不需要稀土元素的情况下就能具有足够的强度、延展性或能量吸收性能^[10]。

虽然加入稀土元素可以提高镁合金的特性，但稀土元素非常昂贵且供应有限。

我们面临的挑战是要找到一种可以通过改变微观结构而使其性能得以改善的低成本元素。这方面的创新关键是，要了解稀土元素如何影响镁的微观结构，然后在不含有稀土类元素的镁合金内创建一种可预见的、模型化的强度和能量吸收机制。通过在高剪切的条件下对硅与镁进行合金化和挤压成形，已成功生产出具有与铝 6061 相似能量吸收特性的镁合金（见图 1）。

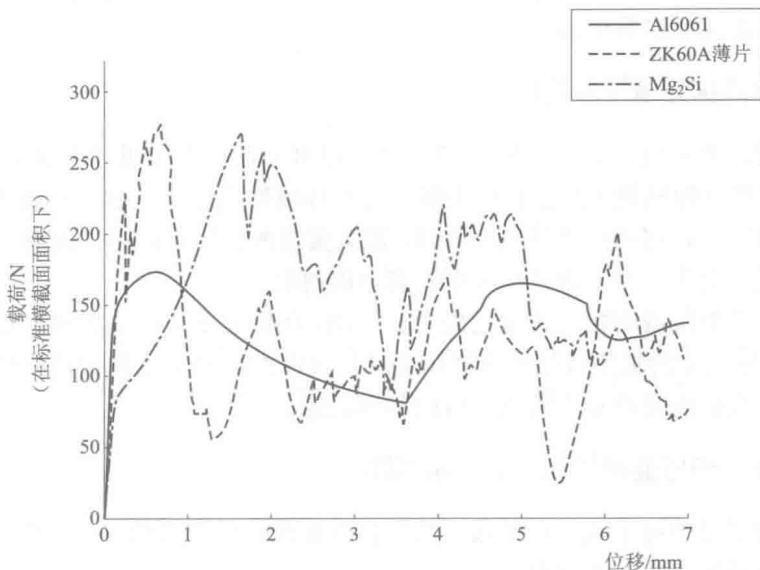


图 1 具有相似能量吸收的铝 6061、快速凝固 ZK60A（经 FY2012 加工后）和深拉高剪切 Mg_2Si 的能量吸收曲线（这表明快速凝固或高剪切深拉至少具有 20% 的质量改进潜力）

（参考文献：2013 年美国能源部车辆技术办公室（DOE VTO）轻量化材料年度报告中的图 III -27）

预测复杂铸件的延展性

由于显微结构的多相性，镁铸件只具有有限的延展性。目前的铸造模型还不能预测其延展性。西北太平洋地区国家实验室（PNNL）、福特汽车公司和密歇根大学之间的合作项目旨在开发一种模型框架^[11]，用以模拟铸造工艺并纳入延展性的机械预测工具，这样不仅能优化铸造工艺，而且还能知道延展性极限会发生在什么位置以及发生的原因。

模型结合了决定延展性极限的多种机制。这种创新架构可以利用现有的铸造合金以及正在开发的未来合金来优化复杂镁铸件的加工条件。这个项目的贡献包括在预测生产条件下进行复合铸造，然后通过铸件的特征来验证生产条件。初步验证是有希望的，并且团队进一步开发了这一建模框架。

通过整合新型镁合金、材料加工、连接、精加工以及计算机辅助建模技术进行设计、制造和验证

示范项目主要聚焦于美国汽车材料合作有限责任公司（USAMP）所展示的镁强化前端结构^[12]，参与其中的包括许多汽车行业的供应商。项目以框架为重点，该框架展示了用于研究各种镁合金和工艺流程的子结构。

子结构的重点应放在通过超真空压铸而成的减震器支座组件，这同样也证明了钢和铝的多材料接合。ICME 工具同样也可用于该子系统中压铸和锻造镁组件常用的镁合金。目前工作的重点是制造、测试和验证该前端底层结构的性能，其中包括耐久性和碰撞性能的预测，如图 2 所示。

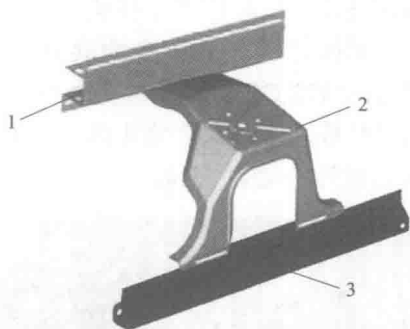


图 2 第Ⅲ阶段示范结构——与镁 AM60B 压铸减震器支座相连接的挤制铝板或钢板
（参考文献：2013 年美国能源部车辆技术办公室（DOE VTO）轻量化材料年度报告第 96 页中的图Ⅲ-82）
1—片状“上滑轨”（铝 6022 T4E40 1.5 mm；高强度低合金钢 350 EG 1.0 mm）；
2—超真空压铸（SVDC）减震器支座（镁 AM60B）；
3—挤压件“下滑轨”（铝 6082 T4）

碳纤维复合材料

碳纤维及其复合材料具有较高的刚度质量比，这有利于刚性驱动系统部件的结构轻量化。材料研讨会^[13]的与会者明确地阐述了以下碳纤维和碳纤维复合材料应用的长期目标：

- （1）到 2025 年，碳纤维将大量用于大批量车辆的生产中；
- （2）到 2050 年，汽车领域的材料供应商将具有性能/功能驱使的设计和制造所需的材料、工具和知识。

碳纤维复合材料的高优先级技术差距

碳纤维较为昂贵，并且并未针对在汽车市场中的应用而对其前体的转化进行优化，其生产方法同样也要求对复合材料进行优化。结构/属性、工艺/结构

关系以及预测的使用性能（例如：撞车）需要可靠的多材料连接技术和预测建模工具（集成计算材料工程或 ICME），可以通过优化纤维基质的中间相来优化其特性，而优化此中间相需要对它有更好的基本认识。在实际应用中，我们还需要具备检测复合材料损伤的能力。

一些与碳纤维复合材料相关的技术差距

通过使用各种前体来降低碳纤维的成本

前体成本占碳纤维最终成本的 50%。在利用替代品和低成本前体的情况下，可降低碳纤维的成本。

美国卓尔泰克（ZOLTEK）公司^[14]正在探索一种能够满足汽车结构应用要求的低成本碳纤维——聚丙烯腈与木质素的共混物（\$5.00/lb^①，抗拉强度 ≥ 1.72 GPa；拉伸模量 ≥ 172 GPa；断裂应变 $\geq 1\%$ ），如图 3 所示。在大规模生产设备方面，他们已经成功地将共混物中的木质素增加到 25%，并且在 2015 年，配方中的木质素预计将达到 45%。

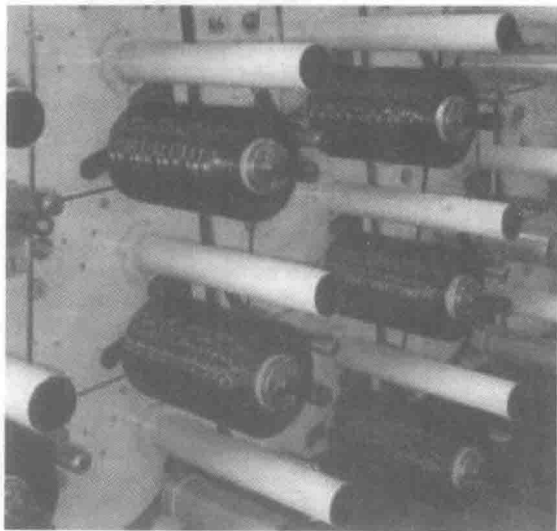


图 3 木质素/PAN 碳纤维线轴

（参考文献：2013 年美国能源部车辆技术办公室（DOE VTO）轻量化材料年度报告第 131 页的图 IV-14）

采用基因工程处理过的蜘蛛丝作为碳纤维潜在前体的探索性项目即将被启动。犹他州立大学与其合作伙伴加州大学河滨分校（具有蜘蛛 DNA 方面的专业知识）和橡树岭国家实验室（ORNL）（具有使用独特前体生产碳纤维的专

① 1lb=0.453 592 37 kg。

业知识)正在致力于这方面的研究。

降低加工成本从而降低碳纤维成本

制造加工常规碳纤维时,聚丙烯腈转化成碳纤维,氧化是一个缓慢的过程。在这个生产阶段,使用热和氧来氧化热塑性聚丙烯腈,以形成交联,从而在碳纤维转换的后续阶段能使纤维保持其完整性。氧化前体转化为碳纤维的能量和时间同样是能量密集型的,因此,最好采用加快转换速度和减少转换能量需求的替代性工艺。

为了突破强行进行氧化步骤的限制,橡树岭国家实验室^[15]正在开发利用氧等离子体进行氧化的替代方法。橡树岭国家实验室与 RMX 科技有限公司(RMX Technologies)合作,小规模地展示了该方法在使用更少能量的同时明显加速氧化过程的潜力。

RMX 科技有限公司将启动一个项目,用以开发等离子体氧化设备并在工业规模上验证其功能。橡树岭国家实验室与 RMX 科技有限公司合作已经开发了比传统加热炉速度更快且能耗更低的替代转换工艺,并且使其日趋成熟。目前,美国能源部先进制造业办公室正在资助橡树岭国家实验室扩大碳纤维转换用微波辅助等离子体工艺的应用。

先进的建模工具

福特汽车公司正在努力为碳纤维复合材料开发和集成 ICME 工具,以确定结构/性能和工艺/结构的关系,同时还要考虑预测模型和制造工艺不确定性的影响以及进行模型的验证和确认。碳纤维复合材料底盘在基础工程技术方面努力的目标是,在 $\leq \$4.27/\text{lb}$ 成本的前提下减小至少 25%的质量。

验证碰撞模型

当前用于预测碳纤维复合材料的碰撞模型是不准确的。因此,当采用碳纤维复合材料轻量化结构时,设计人员必须通过超裕度设计结构来确保安全。但同时,此超裕度设计也增加了材料、成本和质量。在降低成本的同时,设计部分还可通过准确的碰撞模型最大限度地提高性能。开发碰撞模型的第一步是验证确定技术差距的现有模型。

美国汽车材料合作伙伴有限责任公司^[16]正在验证碳纤维复合材料保险杠所使用的碰撞模型。团队设计了复合材料保险杠,并通过与实验结果对比来评估碰撞预测。这个工作包括开发无损检测和评估,以进一步评估碰撞造成的复合材料损伤。

降低碳纤维的生产成本

如果美国能源部高级制造技术办公室没有努力创建复合材料与结构研究所的意图,那么本章节将是无法完成的。此资助项目(DE-FOA-0000977)目前处于采购阶段。

先进高强度钢(AHSS)

钢材料的创新实现了具有更大刚度和强度的先进高强度钢的开发,从而增加了其用于车辆时减重的可能性。

高优先级 AHSS 技术差距

我们在开发新钢种、连接工艺和预测结构/性能和工艺/结构的关系以及在使用性能方面的能力并没有得到充分的施展。

填补了一些与 AHSS 相关的技术差距

美国汽车材料合营有限责任公司(US Automotive Materials Partnership LLC)和美国钢铁学会(American Iron and Steel Institute)^[17]正致力于 ICME 工具的开发和验证,并专注于开发在成本 \leq \$3.18/lb 的前提下能够使白车身质量减小 35% 以上的第三代先进高强度钢(3GAHSS)。这种新一代高级钢的目标特性可以是高强度(抗拉强度 $>1\ 200$ MPa)和卓越的延展性(伸长率 $>30\%$),也可以是特殊的强度(拉伸强度 $>1\ 500$ MPa)和高延展性(伸长率 $>25\%$)。ICME 方法是一种将一组计算和实验结果相结合,以同时预测性能并优化材料的方法。我们在顺利完成所追求的目标方面的努力也明显推动了现有技术水平的发展。例如:目前还没有一种 ICME 框架可使不同长度及尺度的所有模型连接到模锻模拟、断裂模型和设计优化程序中。这一工作旨在实现这些目标。

AHSS 的目标特性

第 3 代 AHSS 的特性如图 4 所示。

驱动系统(动力传动系)材料

提高内燃机的性能,使其能够在更严格的运行条件(温度和压力)下提高发动机效率并实现发动机的轻量化。

驱动系统材料的长期目标^[18]包括以下两方面:

(1) 到 2025 年,能够使用更高性能的材料用于日益严苛的运行条件,以提高效率和性能并减小质量和降低生命周期成本,从而使比功率提高 25%;

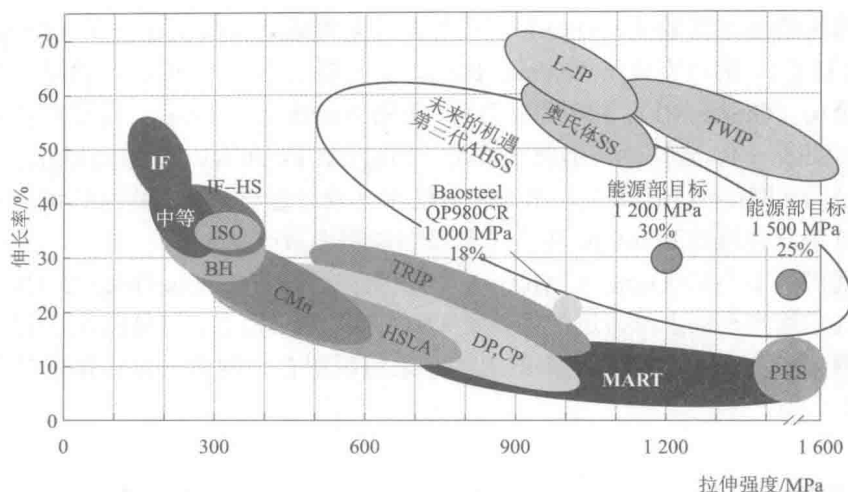


图4 第三代 AHSS 的特性

(参考文献: 2013年美国能源部车辆技术办公室(DOE VTO)轻量化材料年度报告第106页的图III-90)

(2) 到2050年,能够使用更高性能的材料用于日益严苛的运行条件,以提高效率和性能,并减小质量和降低生命周期成本,从而使比功率提高50%。

高优先级驱动(动力系)材料的技术差距

为了使发动机达到更高的效率(且质量更小),需要成本效益更高的性能(温度和压力)合金和锻造技术。此外,还需要减少合金特性的变化性,从而使大型和复杂的铸件具有更薄的铸造壁厚。要达到这些目标,则需要性能和加工特性都有所改进的合金、具有良好可控性的浇铸工艺以及稳健的预测模型工具。从经济的角度考虑,也需要采用可行的加工技术对发动机部件进行精加工。

解决一些与驱动系统(动力系)材料相关的技术差距

解决这些内燃机领域的技术差距的项目需要更高的性能,但低成本的材料目前不可用。

实现更高的峰值气缸压力和温度

针对驱动系统材料,需要进行用于轻量化的铸铝性能提升方面的开发。其性能指标包括强度增加25%、最高工作温度增加50℃,以及增量成本不超过目前使用材料成本的10%。为了实现目标并降低风险,美国能源部(DOE)设计了三种不同的技术解决方案,每一个技术解决方案都具有不同的技术方法和加工方法。所有这些方法都使用可用的ICME工具。