

新型弹簧钢 LPD50 耐久性研究

秦立富 王德虎 赵文涛 李信江 王文军

山东雷帕得汽车技术股份有限公司, 山东 淄博 255100

[摘要]目前自卸车对其悬架系统的高疲劳性能有越来越高的要求。悬架系统对疲劳性能的高要求, 不可避免地使商用车悬架系统所使用弹簧钢的性能提出了更高的要求。自卸车后簧的疲劳寿命一般在 12 万至 16 万之间, 仍远远落后于国际先进水平。结合国内弹簧钢的冶炼和工业化水平, 利用铌元素微合金化技术, 开发了一种新型的含铌高强度弹簧钢 LPD50, 抗拉强度大于 1600MPa, 并用于升级现有的悬架产品。研究表明, 使用新型含铌弹簧钢的悬架的疲劳寿命已达到 500,000 次, 现有产品标准要求提高 3 倍以上。

[关键词]LPD50 弹簧钢; 悬挂系统; 高疲劳性能

DOI: 10.33142/ec.v4i1.3221

中图分类号: TG161

文献标识码: A

Study on Durability of New Spring Steel LPD50

QIN Lifu, WANG Dehu, ZHAO Wentao, LI Xinjiang, WANG Wenjun

Shandong Leopard Automotive Holdings Ltd., Zibo, Shandong, 255100, China

Abstract: At present, dump trucks have higher and higher requirements for high fatigue performance of their suspension system. The high requirements for fatigue performance of suspension system inevitably put forward higher requirements for the performance of spring steel used in commercial vehicle suspension system. The fatigue life of dump truck rear spring is generally between 120,000 and 160,000, which is still far behind the international advanced level. Combined with the smelting and industrialization level of spring steel in China, a new type of high strength spring steel LPD50 containing niobium was developed by using niobium microalloying technology. The tensile strength is more than 1600MPa, and it is used to upgrade the existing suspension products. The research shows that the fatigue life of the suspension with new NB spring steel has reached 500,000 times and the requirement of the existing product standard has been increased by more than 3 times.

Keywords: LPD50 spring steel; suspension system; high fatigue performance

引言

商用车自卸车而言, 提高零部件疲劳寿命需求极为迫切, 特别是其后悬架系统疲劳寿命的提高需求, 也越来越强烈。悬架系统的高疲劳性能要求, 对于高强弹簧钢原材料的开发持续增加, 因此含铌高强弹簧钢存在很大的市场潜力^[1]。目前自卸车后簧的疲劳寿命普遍在 12~16 万之间, 与国际先进水平相比, 仍存在较大的差距^[2-4]。在对铌元素对高强弹簧钢耐久性作用及机理进行深入研究和明确定义的基础上, 针对不同商用车类型对于悬架的要求, 开发新型高耐久性含 Nb 弹簧钢 LPD50, 对高疲劳周期含 Nb 系列弹簧扁钢板簧进行研究推广, 步进可以进一步加大含 Nb 系列弹簧扁钢在商用车悬架系统中的使用及推广, 同时也可以提高我国板簧制造水平, 缩短与国际先进水平的差距^[4-5]。

1 材料制备及试验方法

1.1 高强弹簧钢 LPD50 制备

高强弹簧钢 LPD50 主要化学成份设计见表 1, 依据相应板簧设计需求, 冶炼规格 26×90mm 规格的弹簧钢原材料, 用于材料化学成份、热处理性能和疲劳性能的研究。

表 1 LPD50 化学成分 (Wt%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	S	P
0.45/0.52	0.08/0.21	0.6/1.10	0.7/1.20	0.10/0.16	0.02/0.07	≤0.003	≤0.016

1.2 试验方法

LPD50 冶炼完成后, 使用 Q4 直读光谱仪进行化学成份检测; 用 WDW-G 型电子万能拉伸试验机测试新材

料热处理后试样机械力学性能;使用 HR-15A 型号洛氏硬度计检测新材料试样热处理后淬火硬度及回火硬度;用 Nikon MA100 型金相显微镜及 JEOLJEM-1400 型透射电镜,对新材料热处理试样进行组织观察;板簧产品试制完成后,使用 PSJ200 型机械疲劳试验机进行台架疲劳试验及道路试验。

2 结果与讨论

2.1 化学成分分析

高强弹簧钢 LPD50 化学成份检测见表 2。由表可知,高强弹簧钢 LPD50 化学成份均符合化学成份设计要求,且各种化学元素成份相对均匀,这表明此化学成份设计满足冶炼要求,可以实现规模生产。

表 2 LPD50 化学成分分析 (Wt%)

Furnace number	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	S	P
1	0.49	0.17	0.9	0.90	0.13	0.025	0.002	0.015
2	0.50	0.17	1.0	0.85	0.11	0.026	0.001	0.014
3	0.47	0.18	1.0	1.00	0.12	0.028	0.001	0.013

2.2 力学性能分析

高强弹簧钢 LPD50 热处理后的力学性能要求如表 3 所示。在 $450 \pm 20^\circ\text{C}$ 的回火范围内,弹簧钢的强度大于 1600Mpa,断面收缩率 $\geq 40\%$,断后伸长率 $\geq 10\%$ 。

表 3 LPD50 在常规热处理条件下的机械性能

热处理条件			机械性能			
淬火		回火	屈服强度	抗拉强度	断后伸长率	断面收缩率
淬火温度 ($^\circ\text{C}$)	冷却介质	回火温度 ($^\circ\text{C}$)	RP0.2 (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A (%)	Z (%)
880 ± 20		450 ± 20	≥ 1450	≥ 1600	≥ 10	≥ 40
880	Oil	450	1461	1673	11	32
880		450	1502	1659	10.9	30
880		450	1476	1668	11.2	33

2.3 组织结构与强韧化机理分析

图 1 为高强弹簧钢 LPD50 热处理后的金相组织,为细致的回火屈氏体,结合 JB3782-84 评级标准判定为 1 级;图 2 为高强弹簧钢 LPD50 热处理后的晶粒度照片,依据 GB/T6394-2002 金属平均晶粒度测定方法评定晶粒度为 10 级。图 3 为高强弹簧钢 LPD50 热处理后扫描电镜 (5000 倍) 形貌,分析可知为典型回火屈氏体形貌,且组织分布均匀;图 4 为高强弹簧钢 LPD50 热处理后扫描电镜 (10000 倍) 形貌,在均匀清晰的回火屈氏体形貌之中,弥散均匀分布碳化物颗粒,含 Nb 碳化物颗粒的尺寸大概为 $3 \mu\text{m}$ 左右。综上可知,高强弹簧钢 LPD50 经过热处理之后,可获得较细的回火屈氏体组织,另合金元素,特别是 Nb 元素的加入,形成了高性能碳化物的固溶体,且此种固溶体易偏聚在晶界处,阻碍晶粒长大。同时,在位错进行滑移时,高性能碳化物的固溶体对位错滑移产生钉扎作用,这也是高强弹簧钢 LPD50 具有较高强度和优良的塑韧性的根本原因。含 Nb 碳化物的定性判断,见图 5 扫描电镜能谱分析。

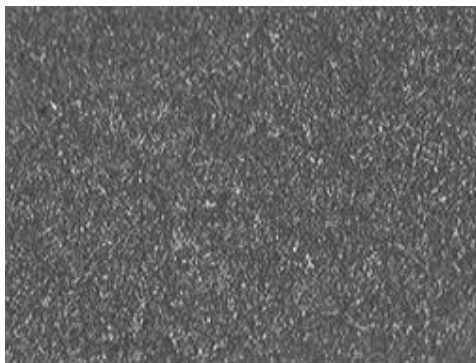


图 1 金相照片 (500×)

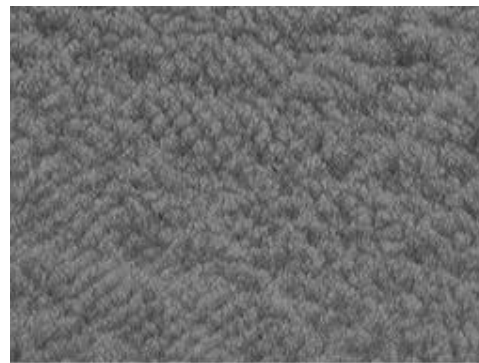


图 2 晶粒度照片 (100×)

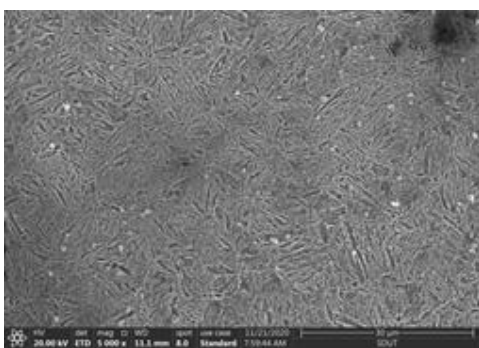


图3 扫描电镜照片(5000×)

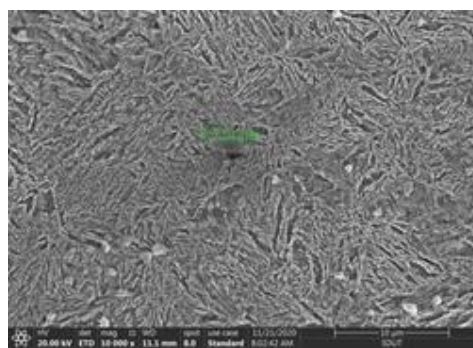


图4 扫描电镜照片(10000×)

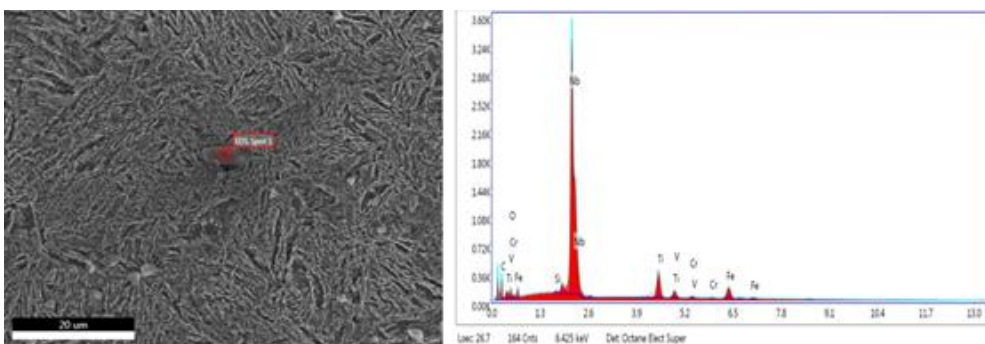


图5 扫描电镜能谱

2.4 工艺性分析

表4是高强弹簧钢LPD50末端淬透性试验数据，图6是高强弹簧钢LPD50的末端淬透性试验曲线。新型高强弹簧钢LPD50具有较好的淬透性，完全能满足高应力板簧不同厚度原材料淬透性工艺需求。

表4 LPD50末端淬透性试验数据

端部距离 (mm)	2	4	6.0	8	10	12	14	16	18
硬度 (HRC)	59	59	59	59	58	56.5	56	56	54.5

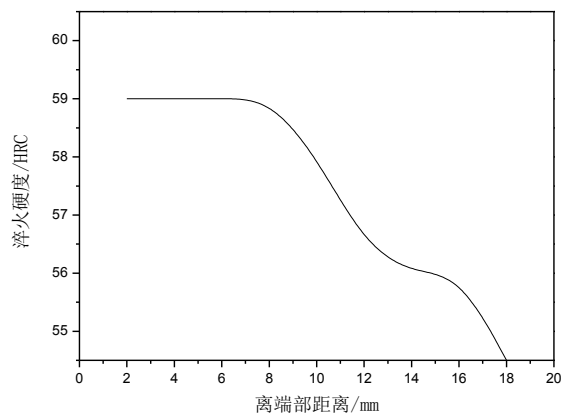


图6 LPD50末端淬透性试验曲线

2.5 台架疲劳试验

图7是使用高强弹簧钢LPD50试制板簧进行台架试验结果。由图7可知：

(1) 高强弹簧钢 LPD50 试制板簧，在国标台架试验条件，最大试验应力 833MPa，台架试验疲劳寿命是 50 万次未出现断裂，远远大于国标要求的 12 万次疲劳寿命。

(2) 高强弹簧钢 LPD50 试制板簧，在主机厂进行疲劳试验，最大试验应力 1000MPa 条件下，疲劳寿命是 30 万次未出现断裂，远远大于主机厂要求的 12 万次疲劳寿命。具有优异的疲劳特性。

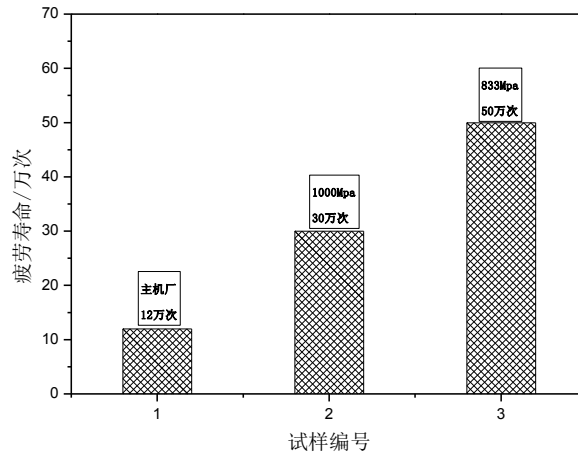


图 7 LPD50 板簧台架试验结果

3 结论

(1) 研制新型含 Nb 高强弹簧钢 LPD50，适用于自卸车高寿命板簧产品。

(2) 新型含 Nb 高强弹簧钢 LPD50 具有良好的热处理性能和淬透性，热处理后抗拉强度大于 1600MPa。LPD50 中 Nb 元素的加入，形成了高性能碳化物的固溶体，其对位错滑移产生钉扎作用，使得高强弹簧钢具有高强度和优良的塑韧性。

(3) 新型含 Nb 高强弹簧钢 LPD50，试制板簧台架疲劳寿命优异，在国标的试验应力条件下，疲劳寿命接近 50 万次；在高应力 1000MPa 试验应力条件下，台架疲劳寿命可达到 30 万次未断，处于行业内绝对领先水平^[6]。

[参考文献]

- [1] 陈耀明. 汽车悬架论文集[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2012.
- [2] 刘娟, 陈雨来, 江海涛. 60Si2Mn 弹簧钢的热变形抗力及其数学模型[J]. 机械工程材料, 2011, 35(11): 44-46.
- [3] 缪华. 60Si2Mn 弹簧热处理新工艺探讨[J]. 材料热处理技术, 2008, 37(8): 72-73.
- [4] 赵海民, 惠卫军, 聂义宏. 60Si2CrVA 高强度弹簧钢的超高周疲劳破坏行为[J]. 材料研究学报, 2008, 22(5): 526-532.
- [5] 祖荣祥. 弹簧钢的合金化研究[J]. 钢铁研究学报, 1997, 9(1): 50-56.
- [6] 冶金工业信息研究院. GBT 33164. 1-2016, 汽车悬架系统用弹簧钢 第 1 部分: 热轧扁钢[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2016.

作者简介: 秦立富 (1982-) 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 就职于山东雷帕得汽车技术股份有限公司, 主要从事商用车悬架系统研究及开发。