

## 非调质钢 50MnSiV 新能源汽车电机轴的开发

谭利 吉光 肖波 郑力宁 周湛  
(江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司, 淮安 223002)

**摘要** 非调质钢 50MnSiV (/% :0.50C, 0.52Si, 1.20Mn, 0.010P, 0.025S, 0.15Cr, 0.10V, 0.015Ti, 0.015N) 制造的新能源汽车电机轴, 省去传统调质钢 20CrMnTiH 渗碳热处理和矫正精整工序, 不仅可提高材料 95% 利用率和 2 天交货周期, 还可以降低 25% 成本。50MnSiV 钢抗拉强度 1 100 MPa、屈服强度 858 MPa、冲击功 48 J。其静扭扭矩 (4 697 Nm)、疲劳寿命 ( $\pm 1\ 600$  Nm 双向扭转 12 万次、 $\pm 1\ 400$  Nm 双向扭转 27 万次) 较渗碳 20CrMnTiH 钢提高了 27% 和 93% ~ 140%, 并且其性能指标和 8 万公里的路试结果均满足电机轴的技术要求。

**关键词** 非调质钢 50MnSiV 20CrMnTiH 渗碳处理 电机轴

## Development of Non-Quenching and Tempering Steel 50MnSiV for New Energy Automobile Motor Shaft

Tan Li, Ji Guang, Xiao Bo, Zheng Lining and Zhou Zhan  
(Huai gang Special Steel Co Ltd, Jiangsu Shagang Group, Huai'an 223002)

**Abstract** The new energy automobile motor shaft made of non-quenched and tempered steel 50MnSiV (/% :0.50C, 0.52Si, 1.20Mn, 0.010P, 0.025S, 0.15Cr, 0.10V, 0.015Ti, 0.015N) by eliminating traditional carburizing heat treatment, straightening and finishing process of steel 20CrMnTiH, can not only improve 95% materials utilization rate and 2 delivery days and can also reduce 25% costs. With tensile strength 1 100 MPa, yield strength 858 MPa and impact energy 48 J, its static torque (4 697 Nm), fatigue life ( $\pm 1\ 600$  Nm bidirectional torsion 120 000 times,  $\pm 1\ 400$  Nm bidirectional torsion 270 000 times) increased by 27% and 93% ~ 140% respectively than that of carburized 20CrMnTiH motor shaft, and its performance index and 80 000 km road test results meet motor shaft technical requirements.

**Material Index** Non-Quenching and Tempered Steel, 50MnSiV, 20CrMnTiH, Carburizing, Motor Shaft

目前,我国主要的新能源电动机生产企业所生产的电机轴普遍采用 20CrMnTiH 渗碳 + 调质工艺生产电机轴,这种低碳齿轮钢生产的电机轴存在两种缺陷:(1) 必须依靠渗碳和调质工艺来提高零件的表面硬度、静扭强度和疲劳强度,但综合性能不佳;(2) 渗碳处理成本高(占总成本 20%) 生产周期长,经矫直、车削、精磨等工序后原材料利用率低(70%),不适用新能源汽车爆发式的增长需求。

因此在 49MnVS3 性能的基础上优化合金元素 (Si、Mn、V、Ti) 开发出一款 50MnSiV 电机轴并已经工业化生产,该钢种不仅可以提高原材料利用率(95%)、交货周期(2 天)和降低综合成本(25%),还可以在 20CrMnTiH 电机轴的基础上提高 27% 的静扭强度和一倍的疲劳寿命。

### 1 试验工艺和材料

江苏淮钢生产的中碳非调质钢 50MnSiV 工艺流程为:铁水(75 t)、废钢(25 t)-转炉(100 t)-出钢合金化-LF-RH-CCM(六机六流 200 方铸坯)。冶炼工艺

参数:铁水 KR 脱硫、转炉出钢  $P \leq 0.008\%$ 、 $S \leq 0.015\%$ ,双渣冶炼:石灰、精炼渣各 400 kg,精练过程中采用电石、硅锰脱氧。 $\Phi 55$  mm 材轧制工艺参数:预热段  $\leq 850$  °C,加热段 950 ~ 1 100 °C,均热段 1 100 ~ 1 200 °C,总加热时间 2.5 ~ 3.5 h,1 000 ~ 1 100 °C 开轧,900 °C 终轧,800 ~ 500 °C 穿水、堆冷。

表 1 为非调质钢 50MnSiV 化学成分,可见,为提高表面硬度和疲劳寿命,增加了合金元素硅、锰、钒、钛的含量,通过控制微合金元素碳氮化物的弥散强化,从而提高静扭强度和疲劳强度<sup>[1-2]</sup>。

### 2 试验结果与对比分析

非调质钢 50MnSiV 电机轴制造工艺:下料-中频感应炉加热(1 150  $\pm$  30) °C,15 s-锻造成形(1 000 ~

表 1 非调质钢 50MnSiV 的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of non-quenched and tempered steel 50MnSiV /%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ti	N
标准范围	0.45 ~ 0.53	0.50 ~ 0.60	1.10 ~ 1.30	$\leq 0.020$	0.015 ~ 0.035	0.10 ~ 0.25	0.09 ~ 0.15	0.010 ~ 0.020	0.010 ~ 0.020
实测值	0.50	0.52	1.20	0.010	0.025	0.15	0.10	0.015	0.015

1 100 ℃)-分段控制冷却至 600 ℃-空冷至室温-机加工、花键冷搓-表面淬火/回火-清洗、打标、包装。

2.1 机械性能

表 2 为非调质钢 50MnSiV 电机轴的机械性能,与渗碳 + 调质的 20CrMnTiH 相比,强度略有降低,冲击值下降明显,但均满足电机轴的技术要求。

2.2 显微组织

图 1 为 50MnSiV 电机轴轴心位置的显微组织和珠光体片层形貌。由图 1 可知,50MnSiV 电机轴轴心组织为均匀分布的铁素体 + 珠光体,铁素体晶粒度在 7 级以上,珠光体的片层呈微细化分布<sup>[3]</sup>。

2.3 疲劳耐久试验

电机轴疲劳强度以及静扭强度试验在 TA-01000 静扭试验台和 MTS 多轴电液伺服试验系统进行。从表 3 中可以看出,50MnSiV 钢的静扭强度较 20CrMnTiH 钢提高了 27%,疲劳寿命较 20CrMnTiH 钢提高了 93% ~ 140%,非调质钢 50MnSiV 的综合性能优于 20CrMnTiH 钢<sup>[4-5]</sup>。

2.4 道路试验

为验证 50MnSiV 电机轴的可靠性,将电机轴装机、装车后进行路试验证。路试验证在上海-嘉兴间的公交道路上进行,经过 8 万公里路试试验后无

表 2 20CrMnTiH 钢和 50MnSiV 钢电机轴的拉伸、冲击试验结果

Table 2 Results of tensile and impact properties of motor shaft of steel 20CrMnTiH and steel 50MnSiV

项目	$R_m$ / MPa	$R_{p0.2}$ / MPa	$A$ / %	$Z$ / %	$K_{U2}$ / J	HRC 值
技术要求	≥900	≥750	≥10	≥20	≥35	55 ~ 65
20CrMnTiH 渗碳 + 调质	1 200	993	11.5	54	90	60
50MnSiV 表面调质	1 100	858	19	51	48	62

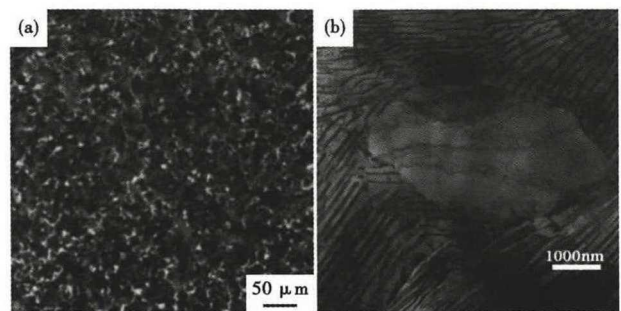


图 1 50MnSiV 钢的组织形貌:(a)光学;(b)SEM  
Fig. 1 Microstructures of steel 50MnSiV: (a) optical; (b) SEM

表 3 20CrMnTiH 钢和 50MnSiV 钢电机轴疲劳寿命和静扭强度比较

Table 3 Comparison of fatigue life of motor shaft and static torsional strength of steel 20CrMnTiH and steel 50MnSiV

项目	20CrMnTiH 渗碳 + 调质	50MnSiV 表面淬/回火	提高 比例
静扭试验/最大扭矩	3 688 Nm	4 697 Nm	27%
±1 400 Nm 双向扭转疲劳台架	14 万次	27 万次	93%
±1 600 Nm 双向扭转疲劳台架	5 万次	12 万次	140%

异常情况,满足新能源汽车的使用要求。

3 结语

(1)非调质钢 50MnSiV 制造的电机轴机械性能、静扭强度、疲劳强度和路试均满足新能源汽车的技术要求。

(2)非调质钢 50MnSiV 制造的电机轴和渗碳 20CrMnTiH 电机轴相比较,可以提高静扭强度和疲劳寿命两项关键技术指标,相较于 20CrMnTiH 电机轴的基础上提高了 27% 的静扭强度和一倍的疲劳寿命。

(3)非调质钢 50MnSiV 所制造的新能源汽车电机轴,省去了整体热处理工艺。不仅可以提高原材料利用率(95%)、交货周期(2 天)和降低综合成本(25%),还可以提高电机轴的产品性能。该类产品不仅适应于新能源汽车爆发式的增长需求,还符合汽车行业持续降本增效提升国际市场竞争力的产业政策,具有广阔的应用和市场前景。

参考文献

[1] 常开地,王 萍,刘卫萍. 非调质钢的发展现状和应用进展[J]. 金属热处理,2011,36(3):80-85.

[2] 刘 攀,李卫钊,魏元生. 中碳微合金非调质钢涨断连杆的开发[J]. 钢铁研究学报,2015,27(1):46-49.

[3] 吴 毅,项 彬,孙 跃,等. 钒微合金化中碳钢微观组织及力学性能的对比如研究[J]. 铁道机车车辆,2010,30(3):48-51.

[4] 马鸣图,杨红亚,侯长西. 非调质钢涨断连杆的疲劳性能[J]. 机械工程材料,2011,35(7):81-82.

[5] 曹 正,史万福,王敢利,等. 高碳微合金非调质钢连杆的研究[J]. 汽车工艺与材料,2000(12):24-25.

谭 利(1986-),男,硕士(2013 年昆明理工大学),主任工程师,2010 年湖南工业大学(本科)毕业,汽车高强韧性非调质钢开发研究。E-mail:tanli19861225@163.com

收稿日期:2019-05-07