

提高汽车稳定杆用钢 60Si2MnA 疲劳寿命的工艺实践

于学森 左龙飞 李 阳 麻 晗
(江苏省(沙钢)钢铁研究院,张家港 215625)

摘 要 采用金相显微镜、扫描电镜和能谱分析仪分析汽车稳定杆用钢 60Si2MnA ($\% : 0.56\text{C}, 1.74\text{Si}, 0.74\text{Mn}, 0.011\text{P}, 0.007\text{S}, 0.04\text{Cr}$) 疲劳寿命低的原因主要为表面脱碳层较深, 表面存在裂纹, 淬火组织中有较多铁素体。通过加 0.22% Cr, 增加连铸坯全修磨工序, 150 mm \times 150 mm 铸坯加热温度由 1 130 ~ 1 150 $^{\circ}\text{C}$ 降至 1 080 ~ 1 100 $^{\circ}\text{C}$ 等工艺措施显著降低了淬火后钢中铁素体含量, 钢材表面无裂纹缺陷, $\Phi 18$ mm 棒材总脱碳层深度由原 128 μm 降至 87.5 μm , 使该钢的疲劳寿命由 6 ~ 10 万次提高至 20 ~ 25 万次, 满足了设计要求。

关键词 稳定杆用钢 60Si2MnA 表面质量 脱碳层 铁素体 疲劳寿命 工艺优化

Process Practice for Improving Fatigue Life of Steel 60Si2MnA for Auto Stabilizing Rod

Yu Xuesen, Zuo Longfei, Li Yang and Ma Han
(Jiangsu Province Iron and Steel Research Institute, Shasteel, Zhangjiagang 215625)

Abstract The main reason of low fatigue life of steel 60Si2MnA for auto stabilizing rod ($\% : 0.56\text{C}, 1.74\text{Si}, 0.74\text{Mn}, 0.011\text{P}, 0.007\text{S}, 0.04\text{Cr}$) is analyzed by using optical microscope, scanning electron microscope and energy dispersive spectrometer, i. e. the decarburized layer is deeper, there are cracks at surface of steel rod and the quenched structure has a lot of ferrite. With the process measures including adding 0.22% Cr in steel, adding procedure of grinding on while surface of billet and decreasing heating temperature of 150 mm \times 150 mm casting billet from original 1 130 ~ 1 150 $^{\circ}\text{C}$ to 1 080 ~ 1 100 $^{\circ}\text{C}$, the ferrite content in quenched steel decreases obviously, there is no crack defect on surface of steel bar and the total decarburized layer depth of $\Phi 18$ mm bar decreases from original 128 μm to 87.5 μm , as a results the fatigue life of the steel increases from $6 \times 10^{-4} \sim 10 \times 10^{-4}$ to $20 \times 10^{-4} \sim 25 \times 10^{-4}$ to meet the requirement of design.

Material Index Steel 60Si2MnA for Stabilizing Rod, Surface Quality, Decarburized Layer, Ferrite, Fatigue Life, Process Optimization

稳定杆又称防倾杆, 是汽车独立悬架系统中的重要安全件, 在汽车转弯时减小转向振动, 或遇到阻力时提高操作的稳定性, 保证舒适性和行驶安全性。工作中主要受扭转, 挤压和剪切力作用^[1-2]。

钢厂采用 90 t LD-90 t LF-RH-CC (150 mm \times 150 mm)-热轧工艺生产 $\Phi 18$ mm 棒材 60Si2MnA 用于制造汽车稳定杆, 但是稳定杆的疲劳寿命达不到设计要求 (设计要求应 ≥ 20 万次), 仅有 6 ~ 10 万次。因此进行了生产跟踪分析和工艺改进。

1 稳定杆生产流程

稳定杆生产流程为: 进料检验 \rightarrow 下料 \rightarrow 端部感应加热 \rightarrow 耳部成型 \rightarrow 中频感应加热 (900 ~ 950 $^{\circ}\text{C}$) \rightarrow 成型 \rightarrow 余温淬火 (840 ~ 880 $^{\circ}\text{C}$) \rightarrow 回火 (515 $^{\circ}\text{C}$) \rightarrow 尺寸校对 \rightarrow 喷丸 \rightarrow 喷塑 \rightarrow 装配定位圈 \rightarrow 抽检稳定杆疲劳寿命 (≥ 20 万次) \rightarrow 包装 \rightarrow 入库。回火后要求洛氏硬度在 40 ~ 45 HRC, 疲劳试验时振幅设定为 ± 57 mm, 频率控制在 (2 ± 0.5) Hz。

2 稳定杆疲劳失效原因分析及优化措施

2.1 疲劳失效断口分析

由图 1 可以看出, 疲劳断口由裂纹源区、扩展区

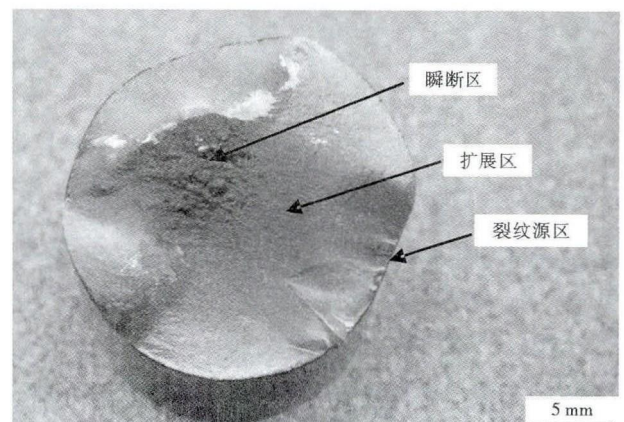


图 1 60Si2MnA 钢稳定杆典型疲劳断口的宏观形貌
Fig.1 Macro morphology of typical fatigue fracture of steel 60Si2MnA for stabilizing rod

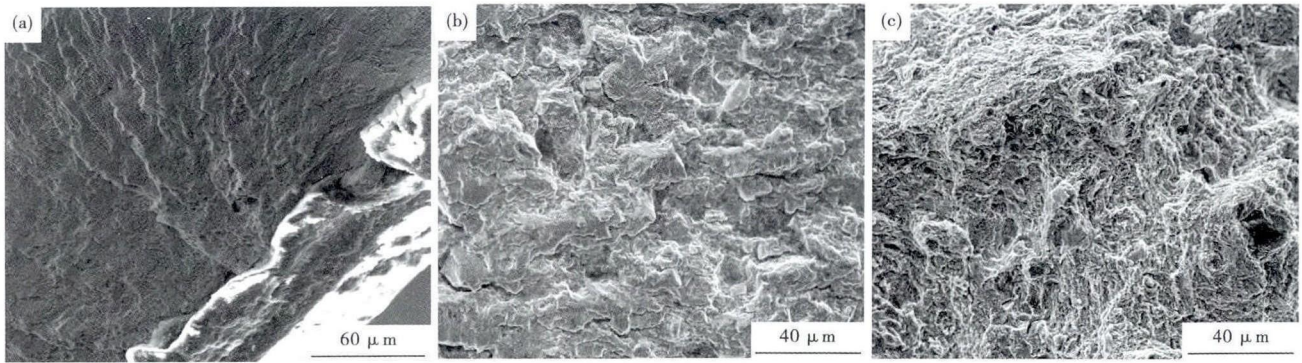


图2 60Si2MnA 钢稳定杆疲劳断口 SEM 形貌:(a)裂纹源;(b)扩展区;(c)瞬断区

Fig. 2 SEM morphology of fatigue fracture of steel 60Si2MnA for stabilizing rod: (a) crack source; (b) crack expanding zone and (c) instant fracture zone

和瞬断区3个区域组成。裂纹源位于稳定杆表面,裂纹源区呈凹凸不平,这是由于经过反复扭转、挤压和剪切导致塑性撕裂,另外由于低周期疲劳,应变幅值较大出现多个裂纹源。扩展区面积较大,未观察到明显的贝纹线。瞬断区表面看似由大小不一的颗粒物组成,颗粒物在光的照射下会发出金属的光泽,有“小刻面”的特征^[3,4]。

裂纹源 SEM 形貌如图2(a)所示,在裂纹源附近存在呈放射状的细小平台;在扩展区存在大量的长而深的二次裂纹、平台和少量浅切窝(图2b)。瞬断区存在大量的切窝,另外还存在少量的二次裂纹(图2c)。由微观形貌可知,裂纹源和扩展区为准解理断裂,瞬断区为延性断裂。

2.2 稳定杆表面脱碳层

表面脱碳将严重损害钢材的疲劳性能,生产实践表明,随着表面脱碳层深度的增加,钢材的疲劳寿命是降低的^[5,7]。检验结果表明,稳定杆总脱碳层厚度为128 μm。由于稳定杆生产过程中热处理为感应加热,加热温度低且加热时间很短,热处理过程脱碳可忽略不计,稳定杆脱碳主要来自于连铸坯在加热炉内的加热过程。为了减少脱碳,将加热炉的加热温度由1130~1150℃降到

1080~1100℃。另外尽量避免在轧制60Si2MnA钢时更换轧制规格、检修等而导致连铸坯加热时间延长的发生。通过优化加热炉加热制度,稳定杆总脱碳层厚度由128 μm降到了87.5 μm。

2.3 稳定杆表面质量

稳定杆在使用过程中,受到扭转、挤压和剪切力作用,根据实际受力分析可知,表层金属受力大,而

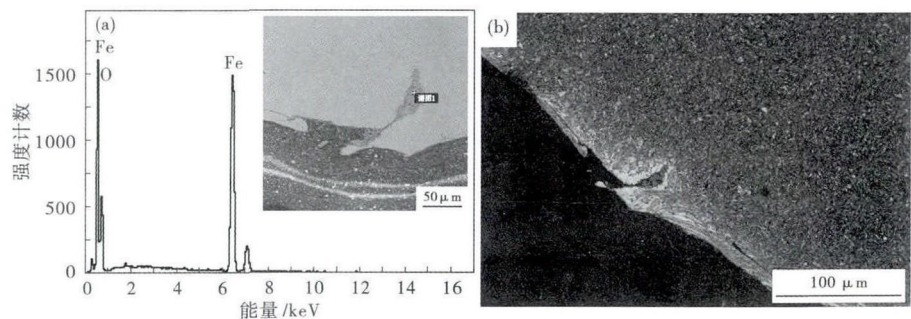


图3 60Si2MnA 钢稳定杆疲劳断口表面裂纹缺陷形貌和能谱分析,SEM(a)以及表面裂纹脱碳现象(b)

Fig. 3 Morphology of surface crack defect at fatigue fracture of steel 60Si2MnA stabilized rod and energy dispersive spectrum analysis, SEM (a) and decarburization phenomenon of surface crack (b)

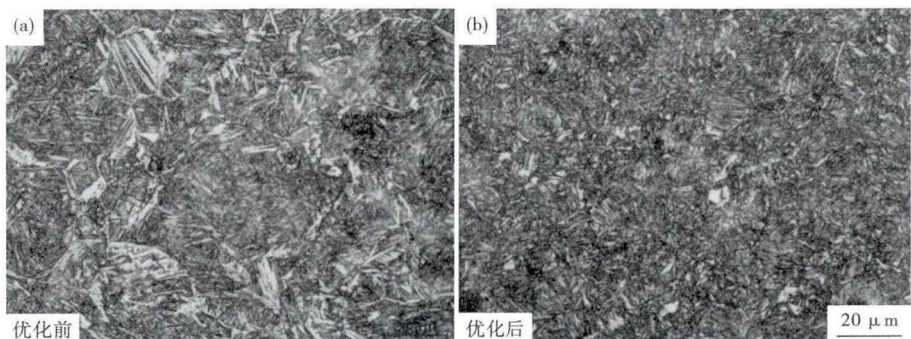


图4 60Si2MnA 钢稳定杆优化前(a)(0.04% Cr)和优化后(b)(0.22% Cr)的淬-回火组织形貌

Fig. 4 Morphology of quenched-tempered structure of steel 60Si2MnA stabilized rod before (a) (0.04% Cr) and after (b) (0.22% Cr) optimization

中心部位金属受力小,由稳定杆断面中心到表面与受力基本呈 $y = kx$ 直线函数关系^[3]。因此,在使用过程中,稳定杆表面存在缺陷,很容易造成很大应力集中,加速裂纹源的萌生和裂纹的扩展,在疲劳应力作用下最终导致疲劳断裂。

在疲劳断口附近切取横向金相试样,发现稳定杆表面存在裂纹缺陷,裂纹深度约为 150 μm ,裂纹内存在氧化铁(图 3a),并且裂纹存在明显的脱碳现象,如图 3(b)所示。为了减少稳定杆表面缺陷,在 60Si2MnA 连铸坯轧制前,增加连铸坯全修磨工序,保证修磨深度在 0.5 mm 以上,完全消除表面缺陷。

2.4 稳定杆金相组织

稳定杆组织为回火索氏体(S) + 铁素体(F),如图 4(a)。由于铁素体韧性较差,易造成应力集中,形成裂纹核心,并沿铁素体扩展,降低钢的韧性和疲劳抗力,导致稳定杆过早失效^[8-10]。

通过提高钢的淬透性,使 CCT 曲线向右移,达到淬火过程抑制铁素体形成的目的。因此,在原有化学成分的基础上添加 0.25% Cr(调整前后的化学成分如表 1 所示),提高钢的淬透性。通过调整成分,淬火-回火后(即稳定杆金相组织),铁素体组织显著减少(图 4)。

3 效果

通过对钢厂生产流程相关工艺进行优化,稳定杆的表面质量、金相组织和脱碳层厚度均有不同程度的提高和改善(表 2)。跟踪弹簧厂生产参数如下:中频加热温度 930 $^{\circ}\text{C}$,加热时间 10 min,淬火温度为 860 $^{\circ}\text{C}$,油温 57 $^{\circ}\text{C}$;回火温度为 515 $^{\circ}\text{C}$,回火时间 120 min;回火后稳定杆洛氏硬度 43 HRC。疲劳

表 1 优化前和优化后 60Si2MnA 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 60Si2MnA before and after optimization / %

工艺	C	Si	Mn	P	S	Cr
未加 Cr	0.56	1.74	0.74	0.011	0.007	0.04
加 Cr	0.54	1.73	0.75	0.018	0.003	0.22

表 2 60Si2MnA 钢稳定杆优化前后的工艺参数、组织和冶金质量

Table 2 Process parameters, structure and metallurgical quality of steel 60Si2MnA stabilized rod before and after optimization

工艺	工艺措施			稳定杆		
	成分/%	铸坯	铸坯加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	金相组织	表面质量	脱碳层/ μm
优化前	未加 Cr (0.04)	不修磨	1 130 ~ 1 150	回火 S + F	存在 裂纹	128
优化后	加 Cr (0.22)	全修磨	1 080 ~ 1 100	回火 S + 少量 F	无缺陷	87.5

试验机参数:振幅为 ± 57 mm,频率为 2 Hz。通过对工艺优化后批量生产的汽车稳定杆用钢进行疲劳寿命检测,疲劳寿命均在 20 ~ 25 万次,满足了设计要求。

4 结论

(1) 疲劳断口的裂纹源位于稳定杆表面,在断口附近存在表面缺陷,表面缺陷来自于连铸坯表面缺陷;稳定杆脱碳层厚度为 128 μm ,回火后金相组织存在较多的铁素体。

(2) 通过调整化学成分、增加连铸坯全修磨工序,并保证修磨深度以及优化加热炉加热温度等工艺措施,钢厂生产的 60Si2MnA 用于制造汽车稳定杆疲劳寿命由 6 ~ 10 万次提高到 20 ~ 25 万次,满足设计要求。

参考文献

- [1] 张弥涛,闫汝真,陈振斌,等. 横向稳定杆的疲劳寿命分析与结构优化[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2015, 40 (2): 52-60.
- [2] 吕永年,杜振民,李绍杰. 55Cr3 钢轿车稳定杆疲劳断裂失效分析[J]. 河北冶金, 2014(11): 58-62.
- [3] 王国凡,王胜辉,尹继宝. 汽车稳定杆早期断裂的原因分析[J]. 兵器材料科学与工程, 2006, 29 (6): 61-63.
- [4] 彭文屹,张健. 弹簧钢稳定杆失效分析[J]. 金属热处理, 2010, 35 (4): 93-95.
- [5] 崔娟,刘雅政,黄学启. 中碳弹簧钢加热过程脱碳特性的试验研究[J]. 热加工工艺, 2007, 36 (20): 20-23.
- [6] 唐劲松. 轿车悬架弹簧用线材的市场需求与质量要求[J]. 宝钢技术, 2006 (6): 9-12.
- [7] Prawoto Y, Sato N, et al. Carbon Restoration for Decarburized Layer in Spring Steel [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2004, 13 (5): 627-636.
- [8] 王仁智,吴培远. 疲劳失效分析[M]. 北京:机械工业出版社, 1987: 77-78.
- [9] 闵永安,王祯,邵光杰,等. 汽车稳定杆组织与疲劳性能研究[J]. 金属热处理, 2002, 27 (10): 27-30.
- [10] 张立业. 钢中魏氏体组织的形成因素综述[J]. 科技向导, 2012(35): 91-92.

于学森(1986-),男,硕士(武汉科技大学),2010年武汉科技大学(本科)毕业,棒线材产品和炼钢工艺研究。

E-mail: balihan2003@163.com

收稿日期:2016-10-05