

# 65Mn 弹簧钢板水空间歇淬火的组织与性能研究

成强<sup>1</sup> 邓阁<sup>2</sup> 肖留伟<sup>3</sup>

(1. 上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200072; 2. 上海市建工设计研究院有限公司, 上海 200050;  
3. 上海拓卡金属材料有限公司, 上海 200050)

**摘要:** 通过试验研究 65Mn 钢水空间歇淬火处理后的力学性能和微观组织。实验结果表明, 经间歇淬火处理的 65Mn 弹簧钢板的力学性能得到了大幅度的提升。

**关键词:** 65Mn 弹簧钢; 水空间歇淬火; 力学性能

**中图分类号:** TG162.8 **文献标识码:** B

## Research on the Microstructure and Properties of 65Mn Spring Steel by Water Space Gap Quenching

Cheng Qiang, Deng Ge, Xiao Liuwei

**Abstract:** This paper researches the mechanical properties and microstructures of 65Mn steel after water space gap quenching in the test and its result shows that the mechanical properties of 65Mn spring steel have been improved greatly by water space gap quenching treatment.

**Key words:** 65Mn spring steel; water space gap quenching; mechanical properties

长期以来, 高强度弹簧钢板(65Mn, 60Si2Mn 等)均采用油淬+中温回火方式进行热处理<sup>[1]</sup>。在钢板弹簧钢热处理中一直使用传统的机油淬火, 虽然在某种条件下可以保证板簧的热处理性能, 但也存在许多突出的问题, 例如: 在淬火过程中油烟很大, 产生大量有害气体, 严重污染环境<sup>[2]</sup>, 并危害工人的身体健康; 由于机油的反复使用, 冷却能力下降, 不能保证淬火后的硬度和淬硬层的深度等。尤其是随着近年来国家节能减排力度日益加大, 取代机油淬火对节能减排和降低成本来说都是亟待解决的课题。

国内外学者对 65Mn 材料进行了大量研究: 沈阳大学于温馨<sup>[3]</sup>和江西长力公司李西平<sup>[4]</sup>等针对 PAG 水溶液替代油淬进行了分析研究, 同时他们对试样在不同浓度 PAG 溶液中的冷却曲线进行了测量。结果表明, 高浓度 PAG 溶液的冷却能力接近油淬。但由于高温粘附作用会被试样带出, 浓度处于动态变化中, 处理结果波动较大, 故 PAG 溶液在使用过程中不够稳定。济钢集团李

春梅等<sup>[5~9]</sup>通过分析研究油淬过程中 65Mn 钢的金相组织变化, 改进油淬工艺, 以使材料获得更高性能。同时国内外还有采用等温淬火、盐浴处理等<sup>[10~13]</sup>方法对弹簧钢进行处理, 但这些方法都存在一定缺陷而未能全面推广应用。作为最廉价的淬火介质, 水具有固液气三种状态, 淬火能力具有非常大的波动性, 如图 1 所示。水雾可调控性非常大, 通过调节水压、喷射角度等参数能够实现任意的冷却速度, 具有广泛的应用意义<sup>[14]</sup>。

我们在前人大量工作和自身前期实践的基础上, 对 65Mn 弹簧钢板水(雾)空间歇淬火工艺进行了探索性试验。

### 1 实验材料及实验结果

#### 1.1 材料性能测定

试验用材料成分见表 1。利用 Jmatpro 软件计算材料 CCT 和稳态材料组织分布图, 为间歇工艺处理做必要的前期准备, 其中 65Mn 钢 CCT 曲线和组织分布如图 2、图 3 所示, 与前人实验测量 65Mn 的 CCT<sup>[15]</sup>结果吻合。

表 1 65Mn 材料成分(质量分数, %)  
Table 1 Material compositions of 65Mn steel  
(mass fraction, %)

C	S	Si	Mn	Cu	P	Ni	Cr
0.62 ~0.70	< 0.035	0.17 ~0.37	1 ~1.2	≤ 0.25	< 0.035	≤ 0.30	≤ 0.25

收稿日期: 2013-01-06

作者简介: 成强(1983—)男, 助理工程师, 硕士, 研究方向为机械设计、检测及工程热处理。

邓阁(1985—)男, 助理工程师, 硕士, 研究方向为机械设计及热处理。

肖留伟(1982—)男, 工程师。

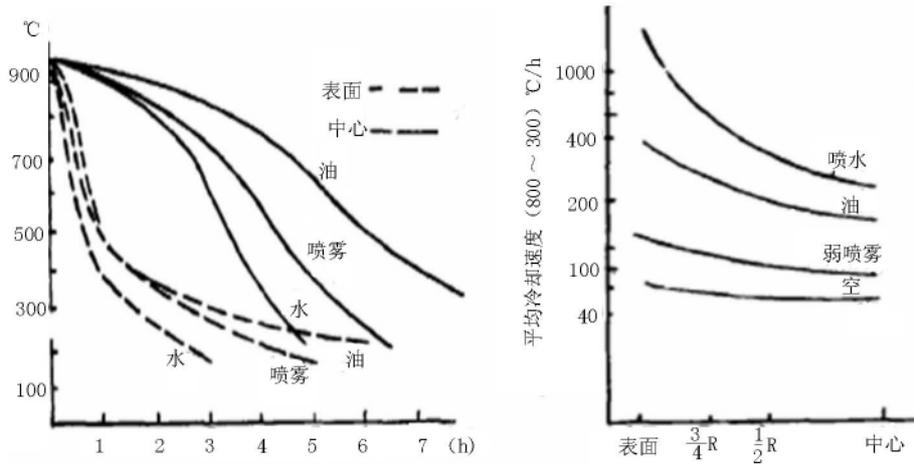


图1 零件在喷雾、油、水介质中的冷却曲线  
Figure 1 The cooling curve of the part in the mediums of spray , oil and water

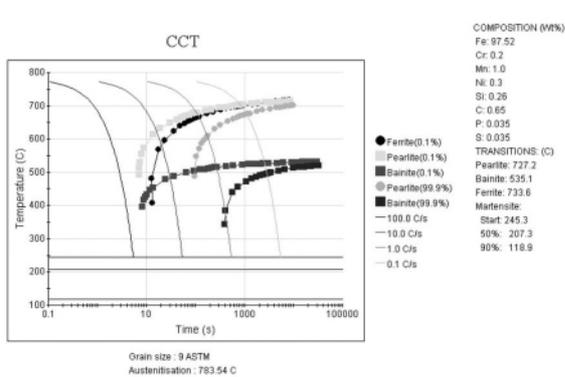


图2 65Mn 钢 CCT 曲线  
Figure 2 CCT curve of 65Mn steel

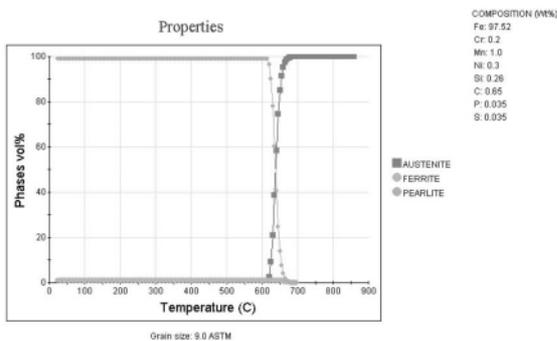


图3 不同温度下 65Mn 钢组织随温度变化的比例曲线  
Figure 3 The ratio curve of 65Mn steel microstructure changed along temperatures under different temperatures

由图2、图3可知,为了尽量减少造成试样性能降低的粗珠光体和先析出铁素体等组织的析出,应尽可能避开620~780℃区间,这就需要冷却速度大于10℃/s。同时,由于材料最优组织为屈氏体,故不宜在太高的冷却速度下冷却,可通过合理的水空交替淬火冷却工艺实现这一要求。根据CCT曲线和组织转变曲线可知,当冷却速度高于10℃/s时,在M<sub>s</sub>点以上将不存在其他组织转变,即此速度为临界速度。为此只要冷却速度在

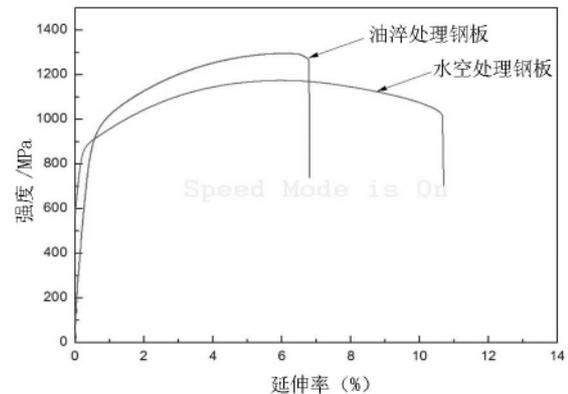


图4 初期试验不同工艺处理下拉伸曲线对比  
Figure 4 The comparison of tensile curves under different processes treatments of initial test

≥10℃/s的情况下使材料迅速降至屈氏体区或者下贝氏体区内进行缓慢冷却,就能得到所需的金相组织。

### 1.2 力学性能分析

根据以上理论,我们进行了初步的探索实验,并对处理后的产品进行了力学性能测试,如图4所示。

通过力学性能测试发现,油淬处理材料抗拉强度为1342.96 MPa,屈服强度约为923.90 MPa,延伸率为6.5%;水空处理试样抗拉强度约为1180 MPa,屈服强度为910.96 MPa,延伸率为11%。油淬和水空处理后材料性能都远远高于GB/T 1222—2007中对65Mn钢的性能要求(抗拉强度R<sub>m</sub>≥695 MPa,屈服强度R<sub>e</sub>≥410 MPa)。相对于油淬而言,间歇淬火处理后材料的塑性更好,约增加一倍,具有更高的屈强比,故综合性能更好。但是水空间歇淬火抗拉强度约低150 MPa左右,有待进一步的研究和改进提高。

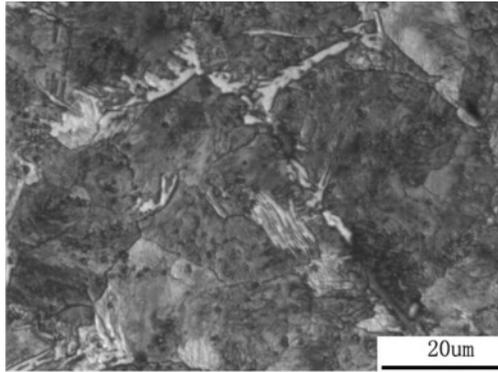


图5 65Mn 钢油淬处理金相组织  
Figure 5 The metallographic structure of 65Mn steel after oil quenching

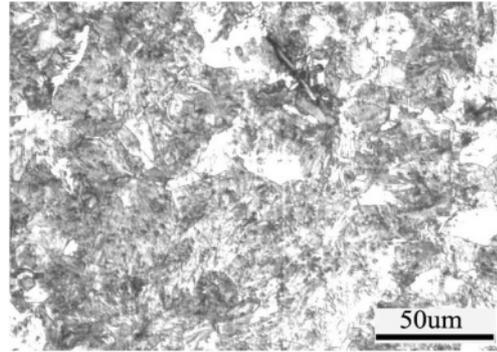


图7 油淬处理 65Mn 钢中产生大块白色铁素体  
Figure 7 Big white ferrite in 65Mn steel occurred in oil quenching treatment

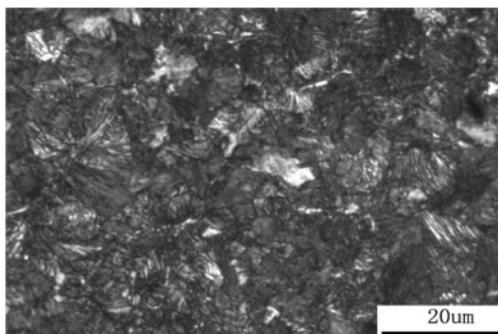


图6 65Mn 钢水空处理金相组织  
Figure 6 The metallographic structure of 65Mn steel after water-air treatment

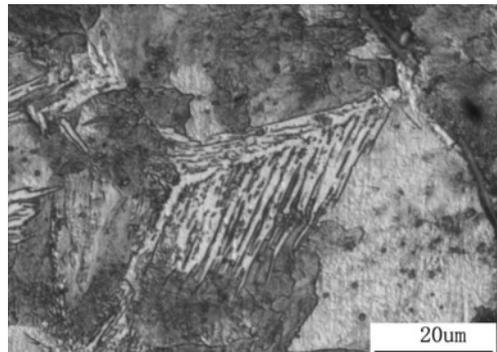


图8 油淬处理 65Mn 钢所生成的上贝氏体  
Figure 8 Upper bainite in 65Mn steel occurred in oil quenching treatment

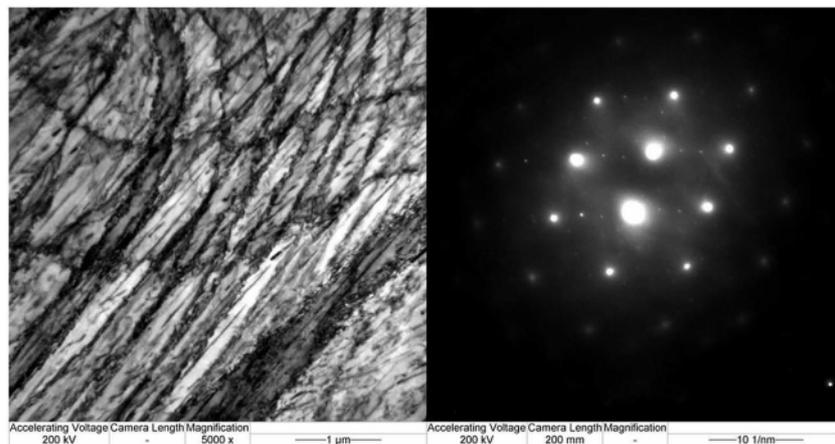


图9 试样中索氏体 TEM 金相和衍射斑点  
Figure 9 Sorbite TEM metallographic structure and diffraction spots in the specimen

## 2 实验结果分析

力学性能由热处理后材料所得金相组织决定。水空处理和油淬处理后的金相组织如图5、图6所示。

从图5、图6可知,与油淬所得组织相比,水空交替淬火得到的屈氏体晶粒更为细小,这也是水空处理试样塑性提高而强度略微降低的原因所在,进一步调节水空工艺可得到强度塑性俱佳的

力学性能。由于水淬具有较高的冷却速度,这有效的避免了油淬中大量铁素体的生长(图7),并避免了上贝氏体的生成(图8)。但值得注意的是,在油淬金相试样中发现存在块状未熔游离铁素体,其形成原因和解决方案需进一步确定。

为了进一步验证,我们在透射电子显微镜下对处理后的试样进行观察,发现了大量细小的索氏体组织,其TEM金相和衍射斑点如图9所示。

(下转第32页)

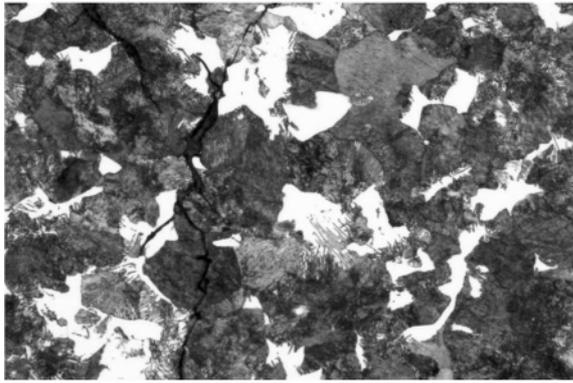


图7 断裂源区微观形貌 ×1000  
Figure 7 Microscopic appearance of fracture source zone ×1000

理,见图7。

### 3 分析

3.1 从宏观断口形貌来看,扩展区有明显的疲劳扩展贝壳纹。从齿轮轴的使用情况来看,它使用仅8个月就发生断裂,这就是说,该齿轮轴断裂性质为典型的低周快速疲劳断裂。

3.2 断裂源区和扩展区具有明显的、清晰的边

界,从宏观上表现为明显不同的断裂形态,这就说明,断裂源区和扩展区产生于不同时期。扩展区为齿轮轴使用过程中疲劳扩展而形成的,断裂源区在扩展区之前就已形成,这就是说,断裂源区就是齿轮轴内部存在的原始裂纹。电镜分析结果可知,断裂源区微观形态为准解理,即为穿晶形态,从裂纹与组织的关系看,裂纹穿过现有组织,这说明,原始裂纹是在最终热处理(淬火或正火)后的冷却过程中,或之后室温放置时间过长使齿轮轴锻件内部残余应力过大所致。断裂源区的断裂源是一个点,并以断裂源为中心,有向四周发散的断裂纤维,而电镜下观察点断裂源处并未发现夹杂等冶金缺陷,这进一步说明齿轮轴内部原始裂纹为内应力所致的应力裂纹。

### 4 结论

该42CrMo高速齿轮轴断裂性质为低周快速疲劳断裂,它产生的原因是由于锻件内部存在原始裂纹所致。而这原始裂纹又是由于齿轮轴内部残余应力过大所致。

编辑 李韦莹

(上接第29页)

### 3 结论

通过分析65Mn钢水空间歇淬火后的力学性能和微观组织,验证了间歇淬火工艺处理65Mn弹簧钢板的可行性。实验结果表明,经间歇淬火处理后的65Mn弹簧钢板的力学性能得到了大幅度的提升。显微组织的表征揭示了间歇淬火弹簧钢性能优于油淬处理的三个主要因素:(1)间歇淬火后组织晶粒得到了显著细化;(2)由于间歇淬火处理具有较高的冷却速度,避免了晶界部位大量铁素体的析出。(3)间歇淬火获得索氏体组织避免了油淬时大量上贝氏体的生成。

间歇淬火处理在获得不低于油淬处理后65Mn板簧材料的力学性能的同时,替代了机油等淬火介质,节约了能源,减少了污染,改善了工作环境。

#### 参考文献

[1] 刘春燕,李昌安. 65Mn 弹簧垫圈热处理工艺[J]. 机械, 2009, 29(21): 212-213.  
[2] 冯旭东,等. 65Mn 钢“零保温”淬火组织及性能研究[J]. 热加工工艺, 2009, 38(14): 147-149.

[3] 于文馨, 阙青颖. PAG 淬火介质在钢板弹簧热处理中的应用[J]. 沈阳大学学报, 2002, 14(2): 64-65.  
[4] 李细平. PAG 在板簧热处理中的应用[J]. 热处理技术与装备, 2010, 31(5): 32-34.  
[5] 李春梅, 赵攀峰. 提高65Mn钢板延伸率的工艺研究[J]. 宽厚板, 2012, 18(1): 25-27.  
[6] 费燕, 等. 莱钢65Mn热轧窄带质量研究与改进[J]. 连铸, 2011, 1: 38-44.  
[7] 赵艺. 钢板弹簧的热处理工艺控制[J]. 新疆农机化, 2004, 5: 59-60.  
[8] 李炜新. 冷却速度对65Mn钢过冷奥氏体组织转变的影响[J]. 热加工工艺, 2008, 37(10): 76-79.  
[9] 杨程, 杨云. 小规格65Mn弹簧钢丝生产工艺研究[J]. 金属制品, 2011, 37(3): 38-41.  
[10] 杨刚, 等. 亚温淬火对65Mn钢组织及性能的影响[J]. 热处理技术与装备, 2009, 30(3): 74-77.  
[11] 冯旭东, 等. 淬火工艺参数对65Mn钢组织及硬度的影响[J]. 热处理技术与装备, 2009, 30(3): 70-73.  
[12] 孙继兵, 等. 65Mn钢圆锯片基体的热处理[J]. 金属热处理, 1999, 11(7): 1-6.  
[13] 李志仁. 65Mn钢热处理工艺的改进[J]. 国外金属热处理, 2000, 21(3): 44-45.  
[14] 张秉忠. 喷雾淬火[J]. 大型铸锻件, 1981, 3: 24-27.  
[15] 李红英, 等. 65Mn钢奥氏体连续冷却转变曲线(CCT图)[J]. 材料科学与工艺, 2005, 13(3): 302-304.

编辑 杜青泉