

## 热轧线材中心偏析对油淬回火 55SiCrA 弹簧钢力学性能的影响

孟耀青<sup>1,2</sup> 郑永瑞<sup>1,2</sup> 李拥军<sup>3</sup> 赵昊乾<sup>1,2</sup> 王伟<sup>1,2</sup>

(1 邢台钢铁有限责任公司技术中心, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027;

3 邢台钢铁有限责任公司炼钢厂, 邢台 054027)

**摘要**  $\Phi 22$  mm 油淬回火(890 °C 300 s 油淬, 530 °C 1 200 s 回火) 55SiCrA 弹簧钢丝( /% : 0.55C, 1.45Si, 0.67Mn, 0.010P, 0.005S, 0.68Cr) 的生产流程为铁水脱硫-80 t 顶底复吹转炉-LF-RH-280 mm  $\times$  325 mm 方坯连铸- $\Phi 22$  mm 轧材。试验结果表明, 55SiCrA 钢  $\Phi 22$  mm 轧材的中心偏析为 3 级, 中心处碳含量不均匀为 0.50% ~ 0.60% C, 半径 1/2 处的碳含量为 0.54%; 中心处试样抗拉强度 1 430 ~ 1 455 MPa, 断面收缩率 39% ~ 40%, 半径 1/2 处抗拉强度 1 470 ~ 1 480 MPa, 断面收缩率 43.0% ~ 45.5%, 严重的中心碳偏析(3 级)使油淬回火 55SiCrA 弹簧钢的力学性能明显降低。

**关键词** 弹簧钢 55SiCrA 中心碳偏析 油淬回火 力学性能

## Effect of Center Segregation of Hot-Rolled Rod on Mechanical Properties of Oil-Quenched and Tempered Spring Steel 55SiCrA

Meng Yaoqing<sup>1,2</sup>, Zheng Yongrui<sup>1,2</sup>, Li Yongjun<sup>3</sup>, Zhao Haoqian<sup>1,2</sup> and Wang Wei<sup>1,2</sup>

(1 Technology Center, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027; 2 Hebei Engineering Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027; 3 Steelmaking Plant, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027)

**Abstract** The production flowsheet of oil-quenched at 890 °C for 300 s and tempered at 530 °C for 1 200 s  $\Phi 22$  mm rod of spring steel 55SiCrA ( /% : 0.55C, 1.45Si, 0.67Mn, 0.010P, 0.005S, 0.68Cr) is hot metal desulphurization- 80 t top and bottom combined blowing converter- LF- RH- 280 mm  $\times$  325 mm bloom casting-  $\Phi 22$  mm rolling products. Examination results show that the center segregation rating of  $\Phi 22$  mm rolled products of steel 55SiCrA is 3, the carbon content at center of rod is non-homogeneous i. e. 0.50% ~ 0.60% C, and the carbon content at 1/2 radius of rod is 0.54%; of steel specimen at center the tensile strength is 1 430 ~ 1 455 MPa and the reduction of area is 39% ~ 40%, while of steel specimen at 1/2 radius of rod the tensile strength is 1 470 ~ 1 480 MPa and the reduction of area is 43.0% ~ 45.5%, the serious center segregation (rating 3) leads to obvious decrease of mechanical properties of oil-quenched and tempered spring steel 55SiCrA.

**Material Index** Spring Steel 55SiCrA, Center Carbon Segregation, Oil-Quenching and Tempering, Mechanical Properties

55SiCrA 钢(对应美标 SAE9254, 日标 SUP12, 德标 54SiCr6)是一种 CrSi 合金弹簧钢, 主要用于制造疲劳寿命要求高、抗松弛能力强的弹簧, 如汽车悬架簧、离合器簧及发动机气门簧等。制造弹簧的主要原料是弹簧钢丝, 一般以热轧线材为原料经过一次或二次以上加工制成, 弹簧钢丝按照其加工方式分为冷拉弹簧钢丝、油淬回火弹簧钢丝等<sup>[1]</sup>。其中油淬回火弹簧钢丝(以下简称 OT 钢丝)使弹簧制造厂省去淬火-回火工序, 具有较高的经济效益, 因此在制造重要合金弹簧领域使用非常普遍。

OT 钢丝力学性能以及通条均匀性是弹簧制造用户重点关注的质量指标。OT 钢丝抗拉强度是弹性极限的可靠度量, 决定了所制弹簧的最大许用应力; OT 钢丝通条力学性能不均匀会给弹簧生产带来很大的困难, 生产过程中需要反复调整卷簧机参数,

且容易造成弹簧几何尺寸、硬度、负荷等参数的离散性, 严重的不均匀性甚至会造成废品<sup>[2]</sup>。

中心偏析为高碳钢线材常见的一种内部缺陷, 其对线材的深加工性能和使用性能均产生不利影响。如中心偏析可导致帘线钢在拉拔和捻线过程中产生断丝, 弹簧钢、轴承钢的疲劳寿命会因存在中心偏析而降低<sup>[3]</sup>。

本文主要试验中心偏析对油淬回火 55SiCrA 热轧线材(OT)弹簧钢丝力学性能的影响。

### 1 试验方法

#### 1.1 试验材料

试验用材料为邢钢 55SiCrA  $\Phi 22$  mm 热轧线材, 其熔炼化学成分见表 1。邢钢 55SiCrA 热轧线材的生产工艺流程为: 铁水脱硫  $\rightarrow$  80 t 顶底复吹转炉  $\rightarrow$  LF  $\rightarrow$  RH  $\rightarrow$  280 mm  $\times$  325 mm 断面方坯连铸  $\rightarrow$  开

表 1 试验用弹簧钢 55SiCrA 的化学成分/%

Table 1 Analysis of tested spring steel 55SiCrA / %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.55	1.45	0.67	0.010	0.005	0.01	0.02	0.68

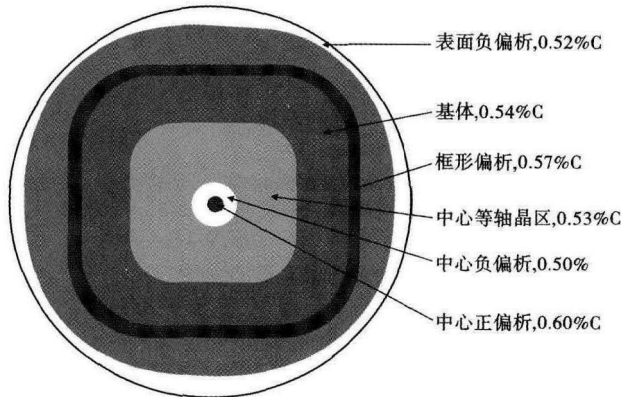


图 1 试验用弹簧钢 55SiCrA 盘条横截面碳偏析示意图

Fig. 1 Schematics of carbon segregation of cross section of tested spring steel 55SiCrA coil

坯→抛丸→磁粉探伤→钢坯修磨→高线轧制→Stelmor控冷→检验→产品包装→入库。

试验用材冶炼炉次为连铸浇次首炉,连铸工艺参数为:中间包钢水过热度 30~35℃,拉速 0.7 m/min,二冷比水量 0.30 L/kg,只采用结晶器电磁搅拌。按照《油淬火-回火弹簧钢丝用热轧盘条 YB/T5365-2006》附录 A 检测评价,试验用材的中心偏析级别为 3 级,中心偏析较为严重。根据 55SiCrA 线材由表面到中心的车屑 C、S 分析结果(沿直径方向每 1 mm 车屑取样)和 55SiCrA 线材硝酸酒精侵蚀显微照片,绘制试验用 55SiCrA 热轧线材的横截面偏析示意图,如图 1 所示。

### 1.2 试验方法

取长度 700 mm 规格 Φ22 mm 的 55SiCrA 热轧线材样,均匀截取成 10 段,每段长 70 mm,分别编为

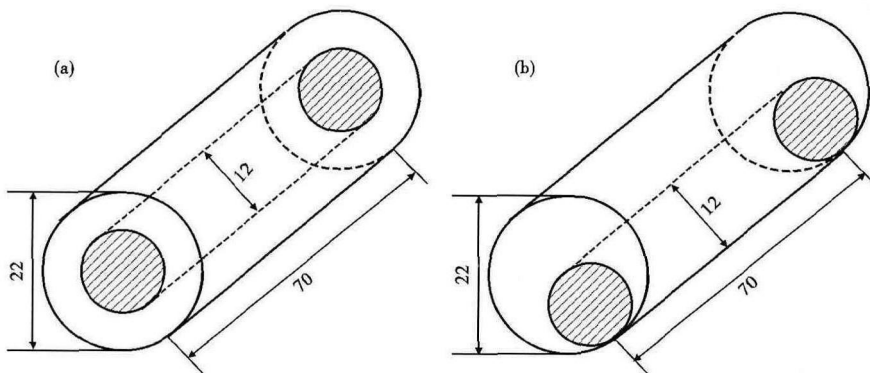


图 2 55SiCrA 钢 Φ22 mm 线材力学性能取样方案:(a)中心部位;(b)半径 1/2 部位

Fig. 2 Sampling scheme of specimen for mechanical properties of Φ22 mm rod of steel 55SiCrA: (a) center location; (b) 1/2 radius

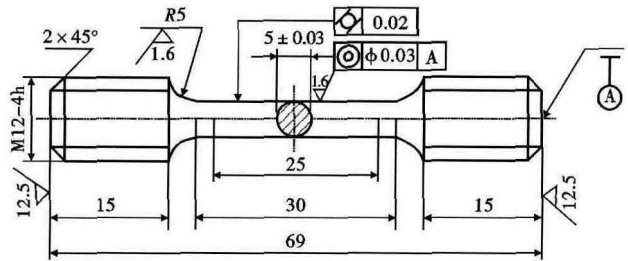


图 3 55SiCrA 钢力学性能试样

Fig. 3 Specimen for mechanical property test of steel 55SiCrA

表 2 55SiCrA 弹簧钢试样热处理工艺

Table 2 Heat treatment process of specimen of spring steel 55SiCrA

奥氏体化温度/℃	奥氏体化加热时间/s	淬火介质	油温/℃	回火温度/℃	回火时间/s
890	300	油	8	530	1 200

1~10 号。其中 1~5 号按照图 2(a)加工成中心试样(单位:mm),6~10 号按照图 2(b)加工成偏心试样(单位:mm)(按照《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备 GB/T2975-1998》中相应规范,对于  $d \leq 25$  mm 的盘条,实际生产中拉伸检测一般采用全横截面试样)。将全部试样加工成拉伸试样,加工方式如图 3 所示(单位:mm);然后对试样进行热处理,热处理条件见表 2;最后进行拉伸试验,拉伸试验设备为电子式万能拉伸试验机,型号 QUA-SA21000,最大量程 1 000 kN。

### 2 试验结果及讨论

将 10 个试样拉伸试验的测试结果(抗拉强度和断面收缩率)进行汇总,如图 4 所示。

试验 10 个试样(中心样 1~5 号,半径 1/2 处 6~10 号)测得抗拉强度 1 430~1 480 MPa 与 OT 钢丝用户处所测得抗拉强度 1 800 MPa 级相比差别较大,其原因:(1)试样热处理中回火温度较高,用户回火温度一般在 450℃左右。

(2)试样热处理中回火时间较长,实际连续生产时回火时间一般在 300 s 以内。(3)此次试验测量抗拉强度使用的是 100 t 拉伸试验机,因此测得数据比实际数据偏小。(4)试验测量 1~5 号试样的断面收缩率 39%~40%,6~9 号试样的断面收缩率 43.0%~45.5%。尽管如此,因为是对比试验,所以具体数值的大小不会对试验

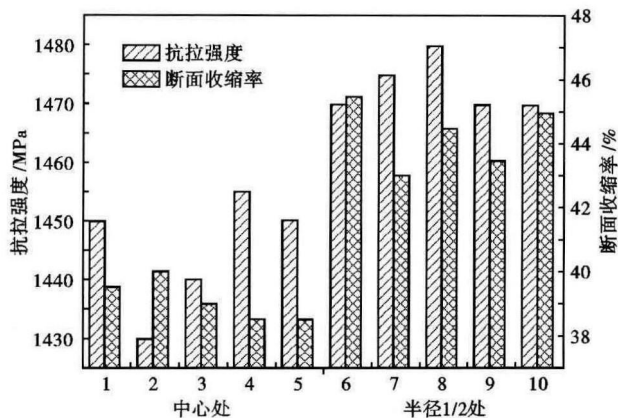


图 4 热处理后中心处试样(1~5号)和半径 1/2 处试样(6~10号)力学性能对比

Fig. 4 Comparison between mechanical properties of specimen at center (1~5) and at 1/2 radius (6~10) of rod

目的和结论造成影响。

热处理后试样的抗拉强度和韧性主要由淬火-回火处理工艺和试样化学成分及规格所决定。在本次对比试验中,所有试样的热处理工艺与规格均相同,认为造成差别的主要原因为试样的化学成分差异,所取试样为同一圈上的热轧线材,这种化学成分差异便是成分偏析。

通过图 4 可以看出,中心试样的抗拉强度和断面收缩率均低于半径 1/2 处的抗拉强度和断面收缩率,由于半径 1/2 处试样的材质均匀性要明显好于中心试样,即可以说明严重的中心偏析会对热处理后弹簧钢丝的力学性能产生不利影响。同时各中心试样(1~5号)之间与各半径 1/2 处试样(6~10号)之间的力学性能也存在着波动,除去测量误差,认为造成这种波动的主要原因为试样长度方向上的成分偏析。因热处理过程不能减轻或改善热轧线材原始的成分偏析缺陷,故造成弹簧钢丝力学性能波动的主要原因为热轧线材纵向成分偏析。

根据成分偏析的遗传特性研究,热轧线材的中心偏析问题起源于连铸方坯的中心偏析<sup>[4]</sup>。大方

坯中心偏析形成机理:凝固末端固液两相区的凝固收缩引起枝晶间富集溶质元素的钢液向芯部流动,流动同时促进了固液界面垂直方向上发生从固相到液相的溶质传质现象,从而形成中心线周围的负偏析;富集溶质元素的钢液最终在铸坯芯部凝固形成中心线正偏析<sup>[5]</sup>。

经计算 55SiCrA 固液相线温度差约 90 ℃,固液共存区较大,连铸过程中易产生中心偏析和中心疏松等缺陷。由于中心偏析在后续开坯、轧制及用户热处理过程中难以消除与改善,故解决中心偏析问题的关键在炼钢连铸环节<sup>[6]</sup>。

### 3 结论

(1) 55SiCrA 热轧线材严重的中心偏析会使 OT 钢丝抗拉强度和断面收缩率均降低。

(2) 55SiCrA 热轧线材纵向成分偏析会使 OT 钢丝通条均匀性变差。

### 参考文献

- [1] 戴宝昌. 重要用途线材制品生产新技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2001:80-82.
- [2] 邢献强,李居强. 55SiCr 油淬火回火阀门弹簧钢丝通条性能研究[J]. 金属制品,2004,30(2):14-15.
- [3] MOON Chang Ho, OH Kyung Shik, LEE Joo Dong, et al. Effect of the Roll Surface Profile on Centerline Segregation in Soft Reduction Process[J]. ISIJ International, 2012, 52(7):1266-1272.
- [4] 黄贞益,陈光,牛亚然,等. 连铸坯凝固偏析和高强热轧盘条的组织遗传性[J]. 钢铁研究学报,2007,19(1):44-47.
- [5] Kohichi Isobe. Formation Mechanisms of Several Kinds of Segregation on Continuous Casting of Bloom[J]. Tetsu-to-Hagané, 2012, 98(8):405-414.
- [6] 帅习元,周勇,吴冬海. 高碳钢盘条中心偏析的控制[J]. 钢铁,2006,41(8):68-72.

孟耀青(1986-),男,硕士(2012年北京科技大学),工程师,2008年武汉科技大学(本科)毕业,弹簧钢产品研发、工艺研究和技术管理。E-mail:mengyaoqing@163.com

收稿日期:2015-05-13