

⑰ 55CrSiA 与 JIS G3566-77油淬火  
100-104 弹簧钢丝的比较分析 TG142.41

A comparison between 55CrSiA and  
JIS G3566-77 Oil Tempered Spring Steel Wires

李远睿 陈玉安<sup>✓</sup> 周正  
Li Yuanrui Chen Yuan Zhou Zheng  
(重庆大学冶金及材料工程系, 重庆, 630044)

**A 摘要** 在系统地对同规格的55CrSiA与JIS G3566-77油淬火钢丝的成分、组织、残留元素及力学性能进行了复查,并按相同工艺制成FM147发动机气阀弹簧做了比较试验后发现:该种弹簧钢丝与日本弹簧钢丝在质量上略有差距。

**关键词** 弹簧钢; 阀门; 疲劳寿命; 负荷  
**中国图书资料分类法分类号** TG 142.41

淬火, 油淬火

**ABSTRACT** The qualities of 55CrSiA oil tempered spring steel wire and not as good as that of JIS G3566-77. This conclusion resulted from the comparative tests which were for the valve springs of FM147 Engine being seperately made of the two kinds of spring steel wires mentioned above according to the same processing and test methods.

**KEYWORDS** spring steels; valves; fatigue life; loads

## 0 前言

为满足八十年代后我国引进汽车及摩托车气阀弹簧制造实现材料国产化的要求,按原设计图样选用了首钢开发的55CrSiA油淬火钢丝<sup>\*\*</sup>与日本JIS G3566-77油淬火钢丝进行了比较分析后,采用相同的弹簧制造工艺制成FM147摩托车发动机气阀弹簧,按 $3.14 \times 10^7$ 次工况条件进行台架疲劳试验,并考核了疲劳试验后弹簧的 $P_2$ 负荷损失。

## 1 材料复验比较

### 1.1 化学成分

55CrSiA油淬火钢丝的化学成分相当于瑞典的OTEVA-70,日本的JIS G3566-77,美

\* 收文日期 1993-04-13

\*\* 首都钢铁公司,南京汽车制造厂,高强度高疲劳寿命油淬火气门弹簧钢丝55CrSiA研制总结,1986年

国的 ASC AC33A, 属于高强度的高频高应力和一定温度下工作的气阀弹簧材料<sup>\*</sup>。FM147 发动机气阀弹簧的内、外簧设计分别用  $\Phi 1.8$  mm 和  $\Phi 2.6$  mm 钢丝, 故选用这两种规格的 55CrSiA 钢丝和日本 JIS G3566-77 同规格钢丝进行化学成分复验, 结果如表 1 所列。

表 1 两种钢丝化学成分复验结果

钢号	规格	化学成分(%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
55CrSiA	$\Phi 1.8$	0.57	1.52	0.75	0.020	0.013	0.70	<0.20
	$\Phi 2.6$	0.55	1.41	0.68	0.023	0.011	0.64	<0.20
JIS G3566-77	$\Phi 1.8$	0.56	1.42	0.72	0.008	0.005	0.72	<0.20
	$\Phi 2.6$	0.57	1.44	0.71	0.009	0.007	0.74	<0.20

### 1.2 残留元素检查

用 POLYVOC E-1000 型光谱分析仪分析, 结果如表 2。

表 2 两种钢丝内的残留元素量

钢号	残留元素含量(%)									
	Cu	Al	Mo	Co	Ni	As	Sb	Bi	Sn	Pb
55CrSiA	0.018	0.015	0.0063	0.037	0.039	0.0072	0.00033	<0.001	0.0087	0.0042
JIS G3566-77	<0.010	0.002	0.0011	0.006	0.015	0.0076	0.00011	<0.001	0.0067	0.0015



图 1 55CrSiA 材料纵向的硫化物夹杂  $\times 2000$

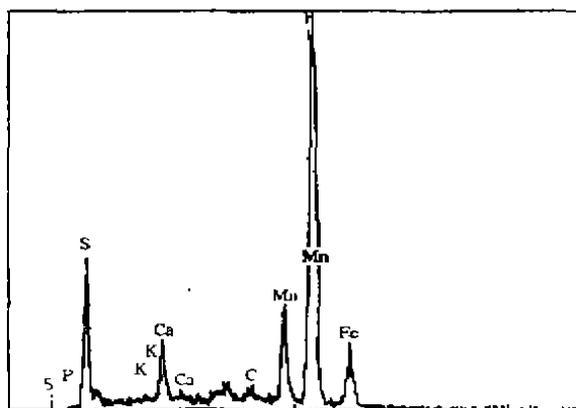


图 2 A 处能谱分析谱线图

### 1.3 能谱分析

随机抽取  $\Phi 2.6$  mm 55CrSiA 和 JIS G3566-77 油淬火钢丝各一段, 纵向打平至近钢丝直径处, 各取约 30 mm, 按金相试样制法(但不腐蚀), 经丙酮、酒精和超声波清洗后进行能谱分析。在 2000 倍扫描电镜下, 发现 55CrSiA 沿拔丝方向有被拉长的夹杂物(图 1)。对标有十号者, 在 A、B、C 三点均进行能谱分析, 证明是以 MnS 为主的硫化物夹杂。其中 A 处的谱线如图 2 所示。而 JIS G3566-77 油淬火钢丝却未观察到有这样明显的夹杂物存在。

\* 瑞典钢铁公司 AS SAB Garphyttan 钢铁公司 Technical Information wire Oil Tempered Chromium Silicon Valve Spring Steel wire Grade OTEVA-70, 1989, 7

### 1.4 金相组织

任取  $\Phi 2.6$  mm 55CrSiA 和 JIS G3566-77 油淬火钢丝各一段, 制成金相试样, 进行金相分析。淬回火后得到均匀的回火屈氏体组织(见图3和图4)。图5为 55CrSiA 油淬火钢丝的表面组织, 有轻微脱碳现象, 而图6是 JIS G3566-77 油淬火钢丝的表面组织, 无任何脱碳迹象。

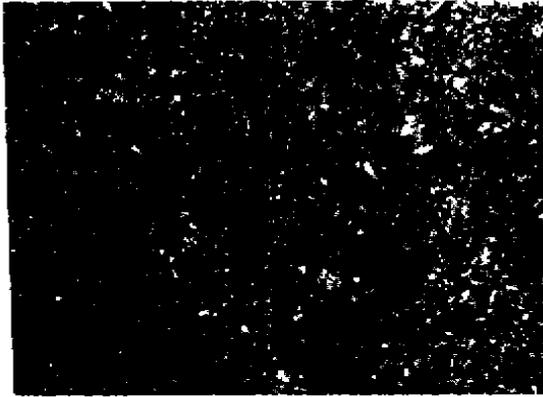


图3  $\Phi 2.6$  mm 55CrSiA 油淬火  
钢丝金相组织,  $\times 500$

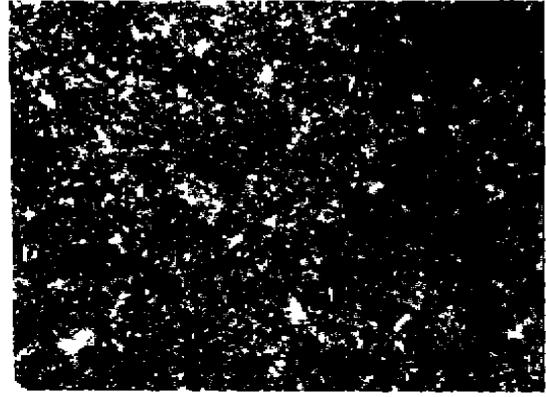


图4  $\Phi 2.6$  mm JIS 3566-77 油淬火  
钢丝金相组织,  $\times 500$



图5  $\Phi 2.6$  mm 55CrSiA 油淬火  
钢丝表面组织,  $\times 100$

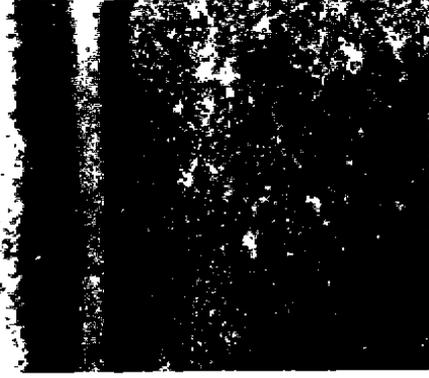


图6  $\Phi 2.6$  mm JIS G3566-77 油淬火  
钢丝表面组织,  $\times 100$

## 2 性能试验

### 2.1 力学性能

力学性能测试结果列于表3。

表3 两种油淬火钢丝的力学性能

钢号	规格(mm)	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{b.2}$ (MPa)	$\sigma_b/\sigma_{b.2}$	$\psi$ (%)	硬度 (MRC)
55CrSiA	$\Phi 1.8$	2083	1895	0.91	48.6	57.2
	$\Phi 2.6$	1984	1789	0.90	45.2	54.7
JIS G3566-77	$\Phi 1.8$	2078	1890	0.91	52.0	57.0
	$\Phi 2.6$	2009	1806	0.90	50.2	55.0

表内数据为10件试样的平均值, 但分散度不同, 拉断55CrSiA 时,  $\Phi 1.8$  mm 的钢丝与其

平均值的最大偏差为2.6 MPa,  $\Phi 2.6$  mm 的为1.8 MPa; 而 JIS G3566-77 钢丝则分别为1.9 MPa 和1.1 MPa.

## 2.2 缠绕试验

按 GB2975-82 进行缠绕试验, 结果列于表4.

表4 两种油淬火钢丝缠绕试验结果

钢号	件数	规格 (mm)	芯轴直径 (mm)	缠绕圈数	缠绕后断口检验
55CrSiA	5	$\Phi 1.8$	1.8	4	未破断, 无裂纹起皮等
	5	$\Phi 2.6$	2.6	4	同上
JIS G3566-77	5	$\Phi 1.8$	1.8	4	未破断, 无裂纹起皮等
	5	$\Phi 2.6$	2.6	4	同上

## 2.3 扭转试验

按 GB239-82 进行扭转试验, 结果列表5.

表5 两种油淬火钢丝扭转试验结果

钢号	件数	规格 (mm)	扭转钳 口距(mm)	扭断时 转动圈数	扭断断口状况
55CrSiA	5	$\Phi 1.8$	180	$\geq 8.7$	垂直轴线、断口平整光滑
	5	$\Phi 2.6$	260	$\geq 8.2$	同上
JIS G3566-77	5	$\Phi 1.8$	180	$\geq 9.4$	同上
	5	$\Phi 2.6$	260	$\geq 8.5$	同上

## 3 弹簧产品试验

表6 FM147 发动机气阀弹簧疲劳试验结果 ( $3.14 \times 10^7$  周次)

钢号	外簧 $P_2$ (N)			内簧 $P_2$ (N)		
	试前	试后	$\Delta P_2$	试前	试后	$\Delta P_2$
55CrSiA	202	200	2	93.6	92.2	1.4
	200	197	3	93.6	92.0	1.6
	198	196	2	94.0	93.4	0.6
	202	200	2	94.5	93.3	1.2
	200	199	1	92.6	91.0	1.6
	200	198	2	95.2	93.6	1.6
JIS G3566-77	203	202	1	96.4	95.6	0.8
	202	200	2	96.5	95.4	1.1
	203	202	1	96.2	95.8	0.4
	203	201	2	95.8	95.2	0.6
	203	202	1	96.8	96.0	0.8
	202	201	1	95.6	95.0	0.6

### 3.1 弹簧制造

FM147 气阀弹簧的制造流程为: 材料复验  $\rightarrow$   $\Phi 4$  mm 无芯卷簧机冷卷成形  $\rightarrow$  端头磨削  $\rightarrow$   $430 \pm 10$  C 去应力回火  $\rightarrow$  清校  $\rightarrow$  抛光  $\rightarrow$  探伤  $\rightarrow$  喷丸  $\rightarrow$  清校  $\rightarrow$  强压  $\rightarrow$   $240 \pm 10$  C 补充回火  $\rightarrow$  检验  $\rightarrow$  上防锈油  $\rightarrow$  包装。

### 3.2 弹簧探伤

将相同工艺造出的 FM147 发动机气阀弹簧各抽取 1000 套进行超声波探伤发现: 55CrSiA 制造的外内簧淘汰 47 件, 内簧淘汰 35 件; JIS G3566-77 制造的外内簧分别淘汰 9 和 7 件。

### 3.3 疲劳试验

从 500 套成品弹簧中每种随机抽取 6 套, 测定 P2 负荷后, 在 F61032 螺旋簧疲劳试验机上按工况条件进行  $3.14 \times 10^7$  次疲劳试验, 12 套弹簧均未断裂, 再测其 P2 负荷, 结果列于表 6。

从弹簧试验结果看出: 1) 用不同产地的同规格钢丝制造的 FM147 发动机气阀弹簧均符合 GB2785-88 和 JB/JQ 26002-88 标准规定; 2) 用 55CrSiA 钢丝制造的该种弹簧的 P2 负荷分散度和疲劳试验后的负荷损失略大; 3) 55CrSiA 钢丝的弹簧探伤淘汰量较大, 说明材料表面质量略逊于 JIS G3566-77 钢丝。

## 4 比较分析

55CrSiA 油淬火钢丝的成分、金相组织和机械性能与 JIS G3566-77 油淬火钢丝相当, 但硫、磷较高, 硅、锰、铬波动较大, 残留元素也高, 特别是铝更明显, 这表明冶炼工艺上有差异。

从力学试验结果看出, 55CrSiA 钢丝的断面收缩率 ( $\psi$ )、抗拉强度 ( $\sigma_b$ ) 的分散度及扭转性能均略逊于 JIS G3566-77 油淬火钢丝。这显然与钢材的成分波动、硫磷含量较高以及残留元素的量及其存在状态有密切关系。

从圆柱压缩螺旋弹簧的受力分析(图 7)知: 内侧表面应力最大(内侧应力是切应力和拉应力之和, 而外侧应力是两者之差)。现代汽车、摩托车发动机气阀弹簧的最大工作应力常在 700~800 MPa 之间, 最高工作频率为 2400~5000 次/min。压缩螺旋弹簧断裂失效往往是从弹簧内侧表面的某些缺陷处开始的, 随后以切应力最大的 45° 方向向外侧扩展。文献[1]指出, 当应力水平低于材料的疲劳极限时, 早期疲劳断裂的裂纹源萌生的应力循环次数为整个断裂过程所需的循环次数的 90%。故这类弹簧材料的表面或次表面的任何缺陷均可成为原始裂纹源区。加工成弹簧产品后, 在高的交变负荷条件下工作时, 早期断裂是很容易发生的。

发动机气阀弹簧的断裂失效, 极易造成气缸炸裂事故。故各先进的工业国家均高度重视气阀弹簧材料的冶金质量。瑞典 Garphyttan 钢铁公司生产的 OTEVA-70 油淬火钢丝以其高质量、高可靠性而被誉为王牌弹簧钢丝。日本仿效瑞典的这种弹簧材料生产出的 JIS G3566-77 油淬火钢丝的质量的经验也是可供借鉴的。

四年来, 我们反复比较了 55CrSiA 和 JIS G3566-77 这种弹簧材料, 并多次试验和改进了弹簧制造工艺。虽然有一定效果, 但制造出的气阀弹簧仍旧与用日本材料生产的弹簧的质量稳定性略有并异。这不能不归结到材料质量因素上来考虑, 因为随后的制造工艺上的诸多努力, 均难以补偿其不足。

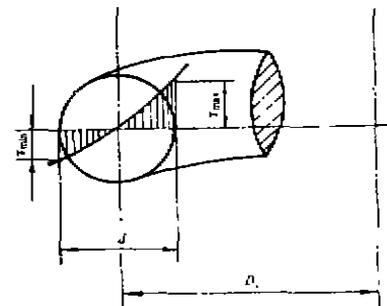


图 7 圆柱压缩螺旋  
弹簧的应力分布图

## 参 考 文 献

- 1 朱荆璞, 表面强化技术, 机械工业出版社, 1986, 113~114