

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.05.020

无磁不锈钢触指弹簧制造技术研究

孟彦京¹, 丁小洁¹, 王安平², 张丹丹²

(1. 陕西科技大学电气与信息工程学院, 西安 710021; 2. 河南省平高集团有限公司, 河南 平顶山 467001)

摘要: 采用 130M 无磁不锈钢制造开关柜产品上的梅花触指弹簧, 将 130M 无磁不锈钢丝弹簧进行回火处理, 系统研究了回火温度和时间对材料的硬度、拉伸性能以及弹簧样件特性值的影响, 并通过盐雾实验研究其耐腐蚀性能。结果表明, 130M 无磁不锈钢弹簧的回火工艺温度范围较宽, 回火后的 130M 钢丝的硬度和抗拉强度提高, 弹簧特性值接近理论计算值的上限, 弹簧的尺寸、特性值和外观质量满足技术要求。

关键词: 无磁不锈钢丝; 梅花触指弹簧; 弹簧特性; 抗拉强度

Research on Manufacturing Technology of Nonmagnetic Stainless Steel Spring for Button Contact

MENG Yanjing¹, DING Xiaojie¹, WANG Anping², ZHANG Dandan²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China;
2. Pinggao Group Co., Ltd., Henan Pingdingshan 467001, China)

Abstract: The button contact springs of switchgears, which are made of nonmagnetic stainless steel 130M, were tempered to investigate the effects of tempering temperature and time on the spring wires' hardness and tensile strength, and the springs' characteristic value. In addition, salt spray test was conducted to reveal the corrosion resistance of the springs. The results show that the tempering temperature range is rather wide for the springs, the hardness and tensile strength increase after tempering, the characteristic value approaches to the upper limit of theoretical one, and all of the dimensions, the characteristic value, and the appearance quality of the springs meet the technical requirements.

Key words: nonmagnetic stainless steel wire; button contact spring; spring property; tensile strength

0 引言

开关柜产品上用的梅花触指弹簧, 根据其服役条件, 对其的技术要求是有足够的弹性、良好的防锈性能、较好的外观表面质量和极低的磁性(即无磁性)^[1-7]。目前该种弹簧零件一般选用普通的奥氏体不锈钢制作, 这类不锈钢从常温至高温范围内都呈无磁性的单相奥氏体, 不能进行热处理强化, 经冷加工会诱发相变^[8-11], 并不能确保其无磁的特性(磁导率低于 1.02), 有时还影响表面质量。130M 钢是一种高度无磁不锈钢新材料, 也属于奥氏体不锈钢系列, 即使经过很高变形率的冷加工之后仍具有良好的无磁性。无论是固溶热处理状态还是冷加工状态的 130M 无磁不锈钢, 其强度特性都比普通奥氏体

不锈钢更好^[12-16], 塑性高、抗疲劳强度好, 钢丝的圈距、自由圈径、矫直指标良好, 表面状态均匀美观, 且暴露于恶劣环境时的耐腐蚀性能较佳, 特别适用于同时要求强度与无磁特性的弹簧及电器部件^[17-20]。

文中研究了 130M 无磁不锈钢丝的热处理工艺、机械性能、130M 无磁不锈钢弹簧的特性参数和防腐性能, 为确定开关柜类产品梅花触指弹簧的制造工艺提供参考。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验材料为直径 1.0、1.2、1.6 mm 的 130M 不锈钢丝, 其化学成分见表 1。

1.2 实验方法

将 130M 不锈钢丝绕制成拉伸弹簧, 按表 2 的

表1 不同直径钢丝的化学成分

Table 1 Chemical composition of experimental material

ϕ/mm	C/wt%	Si/wt%	Mn/wt%	Cr/wt%	Ni/wt%	S/wt%	P/wt%
1.0	0.10	0.47	9.00	18.50	5.36	0.010	0.018
1.2	0.10	0.47	9.87	18.50	5.18	0.006	0.025
1.6	0.09	0.41	10.00	18.50	5.00	0.012	0.030

工艺参数进行回火处理,每次进行弹簧的回火实验时随炉处理 3 根 130M 不锈钢丝试样。进行回火实验前测定炉温,确定实验温度的补偿值,确保实验温度的准确性。回火处理后对随炉钢丝试样进行显微硬度检测和拉伸试验,对弹簧样件进行特性实验和盐雾实验。

表2 回火处理工艺参数

Table 2 Parameter of the tempering process

$T/^{\circ}\text{C}$	240	280	320	360	400	440	480
t/min	120	120	105	95	75	60	60

2 实验结果及讨论

回火处理后的弹簧样品见图 1,表面质量良好,均匀美观,外形质量满足产品图纸要求。

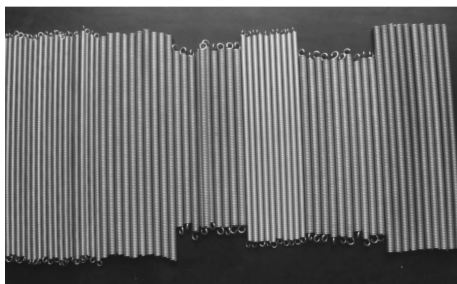


图1 回火处理后的 130M 不锈钢弹簧

Fig. 1 Digital photographs of the spring after tempering

表3 回火后的 130M 不锈钢丝的强度

Table 3 Tensile strength of the wire after tempering

线材规格 ϕ/mm	R_m/MPa						
	母材	240 $^{\circ}\text{C}$	320 $^{\circ}\text{C}$	360 $^{\circ}\text{C}$	400 $^{\circ}\text{C}$	440 $^{\circ}\text{C}$	480 $^{\circ}\text{C}$
1.0	1 566.1	1 715.5	1 736.7	1 728.2	1 761.3	1 736.7	1 744.3
1.2	1 522.0	1 610.3	1 619.5	1 619.5	1 654.9	1 631.3	1 643.1
1.6	1 400.0	1 616.9	1 631.8	1 552.2	1 517.4	1 509.1	1 510.8

2.3 弹簧特性实验

将冷绕成型的 130M 无磁不锈钢弹簧进行回火处理之后,使用弹簧拉压试验机对其弹簧特性值 F (N)进行检测,并测量弹簧的自由长度 L (mm)。实验结果见表 4。

2.4 盐雾实验

用 $\phi 1.0$ 的 130M 不锈钢丝绕制的弹簧自由长度为 167 mm,技术要求为弹簧拉伸至 222 mm 时的

2.1 显微硬度分析

使用维氏显微硬度计测量了经不同回火工艺处理后的 130M 不锈钢丝样品和原始母材的硬度,测量载荷为 9.806 65 N。硬度的变化曲线见图 2。 $\phi 1.0$ 、 $\phi 1.2$ 和 $\phi 1.6$ 的钢丝母材的硬度分别为 409.3、428.7、403 HV。在 240 $^{\circ}\text{C}$ 到 480 $^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内回火后,130M 不锈钢丝的硬度相较母材均有大幅度提高,且硬度分布较均匀,说明回火处理后组织均匀性提高。随着回火温度升高,钢丝的硬度呈阶梯状上升,当回火温度超过 440 $^{\circ}\text{C}$ 之后,钢丝的硬度开始下降。

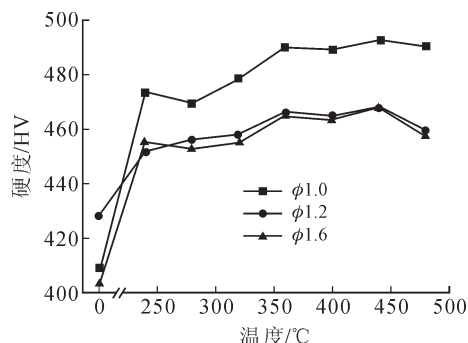


图2 回火温度对 130M 钢丝硬度的影响

Fig. 2 Effect of temperature on the hardness of the wire

2.2 机械性能实验

按照 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》,使用液压万能试验机对回火处理后的 130M 不锈钢丝试样进行抗拉强度检测,检测结果见表 3。从抗拉强度数据可以看出,回火处理能够明显地提高 130M 无磁不锈钢丝的强度, $\phi 1.0$ 、 $\phi 1.2$ 和 $\phi 1.6$ 的钢丝处理后的抗拉强度分别平均提高了 10.9%、7.1% 和 11.8%。在 360~440 $^{\circ}\text{C}$ 之间回火后 130M 钢丝强度的变化幅度较小,强度值趋于平稳。

拉力 F 达到 (35 ± 4) N。用 $\phi 1.2$ 的 130M 不锈钢丝绕制的弹簧自由长度为 198 mm,技术要求为弹簧拉伸至 245 mm 时的拉力 F 达到 (68 ± 7) N。用 $\phi 1.6$ 的 130M 不锈钢丝绕制的弹簧自由长度为 165 mm,技术要求为弹簧拉伸至 193 mm 时的拉力 F 达到 (95 ± 8) N。

从实验结果可以看出,在经过回火处理后,使用 3 种规格的钢丝绕制的拉伸弹簧的自由长度符合技

表4 不同规格的无磁不锈钢丝弹簧的特性值

Table 4 Spring property value after tempering

弹簧规格	特性值指标	技术要求	各工艺样品检测数据			
			240 ℃	320 ℃	400 ℃	480 ℃
φ1.0 钢丝弹簧	<i>L</i> /mm	167.0	168.0	168.0	168.0	167.3
	222时 <i>F</i> /N	35.0±4.0	38.8	36.7	36.9	36.3
φ1.2 钢丝弹簧	<i>L</i> /mm	198.0	198.7	198.3	198.5	198.0
	245时 <i>F</i> /N	68.0±7.0	77.0	80.3	79.3	72.3
φ1.6 钢丝弹簧	<i>L</i> /mm	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0
	193时 <i>F</i> /N	95.0±8.0	100.9	95.0	100.4	87.3

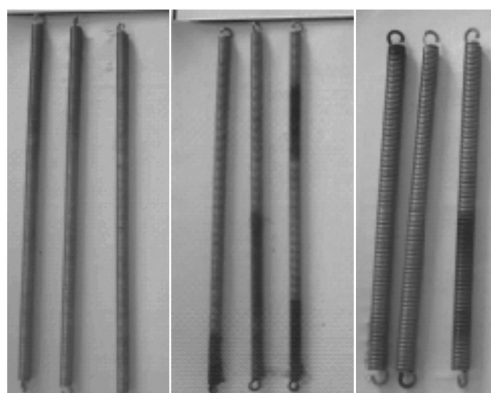
术要求,弹簧特性值均高于技术要求下限值,接近或超过技术要求上限值。经过回火处理后,130M 无磁不锈钢弹簧的力学性能达到技术要求,且其回火温度范围较宽,热处理工艺性良好。

为验证 130M 不锈钢丝弹簧的防锈性能,笔者对热处理后的弹簧进行了盐雾试验,使用的设备是 YWS/R 型湿热盐雾腐蚀试验箱,试验环境为温度 37 ℃、5%的 NaCl 中性盐雾。实验结果见表 5。盐雾实验结束后的弹簧表面状态见图 3。

表5 回火处理后弹簧的耐盐雾腐蚀时间

Table 5 Corrosion resisting time of the tempered spring

弹簧规格	耐盐雾腐蚀时间 <i>t</i> /h		
	240 ℃	400 ℃	480 ℃
φ1.0 钢丝弹簧	144	144	168
φ1.2 钢丝弹簧	168	144	120
φ1.6 钢丝弹簧	216	168	144



(a)1.0钢丝弹簧 (b)1.2钢丝弹簧 (c)1.6钢丝弹簧

图3 盐雾腐蚀结束后的 130M 不锈钢弹簧

Fig. 3 Digital photographs of the spring after salt spray test

在经过回火处理之后,使用 3 种规格的 130M 无磁不锈钢丝绕制的弹簧的耐盐雾腐蚀时间均达到 120 h 以上,能够满足开关柜上梅花触指弹簧的防锈要求。回火温度超过 400 ℃时,样品的耐盐雾时间有下降的趋势。

3 结论

1)采用 130M 无磁不锈钢丝制作的弹簧,绕制成型后需要进行回火处理,其力学性能可以达到相关标准的技术要求。

2)130M 无磁不锈钢丝制作的弹簧的热处理工艺性较好,回火温度范围较宽。回火处理后的弹簧外观质量良好、硬度强度大幅提高,保持了较好的耐蚀性,弹簧特性的可控性好、满足图纸规定的负荷要求。

3)130M 无磁不锈钢的价格低、无磁性好,且其加工工艺性和热处理工艺性均好,因此适宜作为开关柜产品中梅花触指弹簧的生产材料。

参考文献:

- [1] 朱琦琦,程立,吕军玲,等. 断路器瓣形触指用弧形片弹簧设计计算[J]. 高压电器,2013,49(10):104-108.
ZHU Qiqi, CHENG Li, LYU Junling, et al. Design of arc-shaped spring for circuit breaker contact blade[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(10): 104-108.
- [2] 黎斌,张正周. 弹簧触头的设计[J]. 高压电器,2007,43(5):358-360.
LI Bin, ZHANG Zhengzhou. Design of spring contacts[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(5): 358-360.
- [3] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
Editorial Committee of Mechanical Design Handbook. Mechanical design handbook[M]. Beijing: Mechanical Engineering Press, 2004.
- [4] 汪曾祥,魏光英,刘祥至. 弹簧设计手册[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1986.
WANG Zengxiang, WEI Guangying, LIU Xiangzhi. Spring design handbook[M]. Shanghai: Shanghai Scientific Technological Literature Publishing House, 1986.
- [5] 黎斌. SF₆ 高压电器设计[M]. 第3版. 北京:机械工业出版社,2010.
LI Bin. SF₆ high-voltage apparatus design[M]. 3rd ed. Beijing:

- China Machine Press, 2010.
- [6] 方煜瑛. 关于梅花触头的设计要领[J]. 华通技术, 2005, 24(2):38-40.
FANG Yuying. About important design aspects of tulip contacts[J]. Huatong Technology, 2005, 24(2):38-40.
- [7] 李 健. 浅析弹簧触指在 GIS 中的应用[J]. 高压电器, 2007, 43(6):438-439.
LI Jian. Application of the canted coil spring to GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6):438-439.
- [8] 范佳栋, 曾伟明, 张 梅. X10CrNi18-8-1.4310 奥氏体不锈钢弹簧片失效分析及试验研究[J]. 热加工工艺, 2012, 41(10):224-226.
FAN Jiadong, ZENG Weiming, ZHANG Mei. Failure analysis and experimental study on X10CrNi18-8-1.4310 austenitic stainless steel spring piece[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(10):224-226.
- [9] 王效光, 岳晓岱, 张麦仓. 1Cr18Ni9 不锈钢弹簧丝冷拔组织分析[J]. 金属制品, 2011, 37(4):42-47.
WANG Xiaoguang, YUE Xiaodai, ZHANG Maicang. Cold drawing microstructure analysis of 1Cr18Ni9 stainless steel wire for spring[J]. Steel Wire Products, 2011, 37(4):42-47.
- [10] TSAKIRIS V, EDMONDS D V. Martensite and deformation twinning in austenitic steels[J]. Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing, 1999, 273(SI):430-436.
- [11] TOSHKOV V, RUSSEV R, MADJAROV T, et al. On low temperature ion nitriding of austenitic stainless steel AISI316[J]. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007, 25(1):71-74.
- [12] 征 燕. 无磁不锈钢[J]. 金属功能材料, 2003, 10(3):7.
ZHENG Yan. Nonmagnetic stainless steel[J]. Metallic Functional Materials, 2003, 10(3):7.
- [13] 田 君, 高 军, 刘延斌. Mn18Cr13NbN 无磁不锈钢的形变强化[J]. 热处理, 2011, 26(3):79-81.
TIAN Jun, GAO Jun, LIU Yanbin. Deformation strengthening of Mn18Cr13NbN non-magnetic stainless steel[J]. Heat Treatment, 2011, 26(3):79-81.
- [14] 徐德祥, 尹钟大. 高强度弹簧钢的发展现状和趋势[J]. 钢铁, 2004, 39(1):67-71.
XU Dexiang, YIN Zhongda. The tendency to high strength of spring steels and the effect of alloying elements[J]. Iron and Steel, 2004, 39(1):67-71.
- [15] KOYASU Y, YANASE M. Development of high fatigue strength spring steel[J]. Wire Journal International, 1996(5):88-91.
- [16] 郭 宏. 高强度无磁不锈钢线材的开发[J]. 重型机械科技, 2004(4):18-20.
GUO Hong. The development of the high strength non-magnetism stainless steel wire and rod[J]. Heavy Machinery Science and Technology, 2004(4):18-20.
- [17] 李静媛, 李 东, 范光伟, 等. 节镍无磁不锈钢 Cr18Ni6Mn3N 的组织及性能[J]. 北京科技大学学报, 2012, 34(4):397-403.
LI Jingyuan, LI Dong, FAN Guangwei, et al. Microstructure and properties of nickel-saving nonmagnetic Cr18Ni6Mn3N stainless steel[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2012, 34(4):397-403.
- [18] TAVARES S M, PARDAL J M, GOMES D J, et al. Deformation induced martensitic transformation in a 201 modified austenitic stainless steel[J]. Materials Characterization, 2009, 60(8):907.
- [19] 易邦旺, 胡 燕, 郎文运, 等. 氮含量对 Cr18Mn18N 无磁不锈钢力学性能、磁导率和组织的影响[J]. 钢铁, 1998, 33(3):45-47.
YI Bangwang, HU Yan, LANG Wenyun, et al. Effect of content on mechanical properties, magnetic of Cr18Mn18N conductivity and microstructure[J]. Iron and Steel, 1998, 33(3):45-47.
- [20] 李 怡, 张 伟, 安 然. 氮对高电阻率高导磁不锈钢组织和性能的影响[J]. 热加工工艺, 2012, 41(4):61-63.
LI Yi, ZHANG Wei, AN Ran. Effect of Nitrogen content on microstructure and properties of stainless steel under high magnetic permeability and high resistivity[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(4):61-63.
- 孟彦京(1956—), 男, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向为电力电子与电力传动、现场总线技术及其在电力传动中的应用等。
- 张丹丹(1989—), 女, 硕士, 主要研究方向为金属材料表面改性技术。

(编辑 吴俊丽)