

文章编号: 1003-7837(2004)01-0055-04

GY157 特种弹簧钢丝的试制

刘志坚, 郑福生, 肖俊平, 刘宇华

(广东省钢铁研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 介绍了装甲车天线弹簧材料——GY157 特种弹簧钢丝的研制. 选择沉淀硬化半奥氏体钢丝作天线弹簧钢丝材料, 确定其化学成分及其控制范围, 采用真空感应+电渣重熔工艺冶炼, 采用 CH 工艺冷加工强化, 可使该弹簧钢丝的机械性能 $\sigma_b > 1600$ MPa、硬度达 HRC48 以上.

关键词: 弹簧钢; 冶炼; 热加工; 冷加工; 拉丝; 强化

中图分类号: TG142.41 **文献标识码:** A

天线弹簧是装甲车通信系统的主要部件之一. 使用环境要求弹簧钢丝必须具有足够高的强度、良好的抗疲劳强度和抗腐蚀性能. 广东省钢铁研究所受有关部门委托, 开发装甲车辆天线弹簧用的特种弹簧钢丝. 本文就所研制的 GY157 特种弹簧钢丝成分选择、冶金工艺设计及强化工艺等进行探讨.

1 弹簧钢成分确定

1.1 弹簧钢的选择

由于用户野外作业的使用环境对材料的耐蚀性要求较高, 故选用不锈钢类作天线弹簧材料. 目前国内广泛使用的不锈钢弹簧钢丝大致分为三类^[1]: 相变强化马氏体钢丝、形变强化奥氏体钢丝和沉淀硬化半奥氏体钢丝.

使用相变强化马氏体钢丝(2Cr13, 3Cr13 和 1Cr17Ni2 等)时, 需经淬回火处理, 使组织发生相变, 以获得必要的强度和弹性, 但其耐蚀性差. 形变强化奥氏体钢丝有良好的耐蚀性、高的塑性和韧性. 主要强化手段是冷加工变形以及随后的消除应力退火, 其强度和弹性较低, 抗松弛和蠕变性能较差, 多用于制作对载荷精度要求不高的静态弹性元件. 沉淀硬化半奥氏体钢丝兼有奥氏体不锈钢的高韧性、耐蚀性和马氏体不锈钢的高强度特点. 可以通过热处理强化或冷变形加工强化, 使组织发生相变, 从而

使钢得到强化. 此外, 这种钢还具有沉淀硬化能力, 在相变的基础上, 通过时效处理, 发生析出硬化, 从而得到较高的强度. 沉淀硬化半奥氏体不锈钢丝具有更好的弹性、抗松弛性能和更高的疲劳强度. 通过对以上三类不锈钢弹簧钢丝性能的综合分析, 确定选择沉淀硬化半奥氏体不锈钢丝作为特种弹簧材料来制作天线弹簧.

1.2 弹簧钢丝化学成分确定

沉淀硬化半奥氏体不锈钢^[2]的马氏体点(M_s)略低于室温, 经固溶处理后能获得奥氏体组织, 但奥氏体组织不稳定, 可以通过简单热处理或冷加工, 使其发生相变, 再通过时效处理, 析出沉淀硬化相, 可使钢进一步强化. 沉淀硬化不锈钢化学成分的特点: (1)为保证钢具有良好的耐蚀性能, 应含足够量的铬和较低量的碳; (2)要对奥氏体形成元素(Ni, Mn, C 等)和铁素体形成元素(Cr, Mo, Al 等)之间进行平衡, 使钢的马氏体开始转变点 M_s 在室温 ~ -80℃之间; (3)为了提高合金的高温性能, 增加钢的抗软化能力, 应加入 Mo, Al 等; (4)为了使钢具有沉淀硬化能力, 应加入沉淀硬化元素, 如 Al 等, 保证时效处理时能在马氏体基础上析出弥散强化的第二相.

据资料介绍^[3], 沉淀硬化不锈钢马氏体转变点过高, 钢丝固溶处理后出现马氏体, 抗拉强度高, 但加工塑性差, 拉拔过程中易产生裂纹和脆断; 同样 Md30 点过高的钢, 拉拔时过早出现马氏体, 钢丝的

收稿日期: 2003-07-18

作者简介: 刘志坚(1966-), 男, 广东兴宁人, 高级工程师, 学士.

深加工性能也不好,马氏体组织经大减面率拉拔,极易产生开裂和脆断.对于冷拉弹簧钢丝来说,铁素体相较软,强化效应较弱,对成品强度不利,因此应控制钢的组织,使铁素体含量在10%以下.

用户对弹簧材料的性能要求、弹簧的加工条件,以及各元素对沉淀硬化不锈钢组织和性能的影响等因素,进行综合考虑之后,确定采用0Cr15Ni7Mo2Al钢(简称GY157)制备弹簧钢丝.

根据有关公式^[4],计算出弹簧钢的 M_s 、 M_d30 和钢中 δ 铁素体的合理质量分数,最后确定GY157钢成分的控制范围,见表1.

表1 GY157钢化学成分控制范围

Table 1 Chemical composition range of GY157 steel

元素	Cr	C	Ni	Mo	
含量 $w/\%$	14.5 ~ 15.8	0.05 ~ 0.08	7.0 ~ 7.5	1.9 ~ 2.4	
元素	Al	Si	Mn	P	S
含量 $w/\%$	1.0 ~ 1.3	0.4 ~ 0.6	0.5 ~ 0.9	≤0.03	≤0.03

2 GY157 弹簧钢的冶金工艺

2.1 冶炼工艺

从不锈钢组织图上可以看出^[5],沉淀硬化半奥氏体不锈钢处于A+M+F区的边缘,化学成分微小波动都会导致组织和性能的很大变化.严格控制化学成分是生产沉淀硬化不锈钢的关键.

冶炼工艺对GY157弹簧钢丝的综合性能有很大影响.气体含量、夹杂和偏析是沉淀硬化不锈钢产生裂纹、脆断和性能波动大的根源.钢中气体含量高,将导致钢表面产生皮下气泡和表面裂纹;冶炼时铝的氧化会产生氧化铝和氮化铝夹杂,影响钢的热加工塑性,导致应力裂纹产生和扩展,最终影响钢丝的表面质量.选用优质原料和采用特种冶炼工艺去除有害杂质或改善它们的分布状态,可最大限度地减少裂纹的产生.

GY157弹簧钢的冶炼工艺流程为:原料→真空冶炼→电渣重熔→钢锭.采用真空感应冶炼+电渣重熔双联工艺可以集两者优点,既去除气体,减少低熔点杂质,又减少非金属夹杂物,并改善其分布状态,最终提高钢丝的综合性能.实践表明,采用真空感应冶炼+电渣重熔工艺能精确控制GY157弹簧钢的化学成分,改善组织和提高其性能.

2.2 热加工工艺

GY157弹簧钢导热性差,热加工范围窄.在锻造和轧钢时要严格控制加热温度和加热时间.若加热温度过高,钢中 δ 铁素体含量增多,钢的热塑性差,钢坯易出现纵裂;若加热温度偏低,当钢坯表面和四角温度下降较快时,钢会出现析出相,使抗形变阻力增大,热塑性大大降低,导致边裂或头部轧裂.

经试验,确定GY157弹簧钢热加工工艺参数为:加热温度控制在1160~1180℃,保温时间不少于2h,开锻(轧)温度高于1050℃,终锻(轧)温度高于900℃.

3 GY157 弹簧钢丝的强化工艺

沉淀硬化半奥氏体不锈钢丝,实现了马氏体转变和沉淀硬化.使钢强化的热处理流程方案有TH工艺、RH工艺和CH工艺三种.采用TH工艺加工的钢丝塑性高,但强度低,故此工艺不适用于生产弹簧钢丝.

3.1 RH 工艺

RH工艺流程:钢丝→固溶处理→拉丝→缠绕弹簧→调整热处理→冰冷处理→时效处理.通过固溶处理温度、调整热处理温度、时效温度等RH工艺参数的试验,结果表明,经RH工艺处理后,GY157弹簧钢丝的机械性能: σ_b 为1400~1600 MPa, δ 为8%~11%,硬度HRC43~47.采用此工艺强化,GY157弹簧钢丝的机械性能较好,但硬度达不到用户的要求.

3.2 CH 工艺试验

CH工艺流程:钢丝→固溶处理→拉丝(冷加工强化)→缠绕弹簧→时效处理.

3.2.1 固溶处理

固溶处理的目的是使GY157钢具有均匀的组织,良好的加工性能和最大的强化效果.沉淀硬化半奥氏体钢的特点是 M_s 点对热处理加热温度非常敏感,当加热温度超过950℃时, M_s 点降到室温以下.要保持钢丝良好的冷加工性能,固溶处理后不应有马氏体组织,固溶温度至少要高于950℃,但固溶温度过高会使 δ 铁素体增多,降低钢的强度.GY157弹簧钢在950~1150℃固溶,水冷后硬度测定结果见图1.根据测定结果,确定GY157弹簧钢丝的固溶温度为1050~1080℃.图2为GY157钢经1060℃固溶处理后的金相组织.从图2看出,组织由奥氏体和铁素体组成.固溶处理时应尽可能快速冷却,快速均匀冷却对提高钢丝的强度很有利.

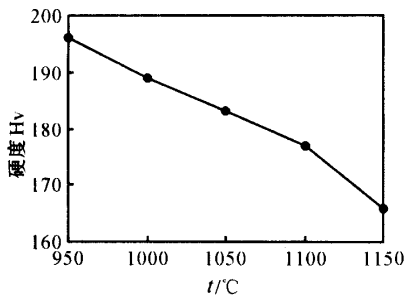


图 1 固溶温度与 GY157 钢硬度的关系
Fig.1 Relationship between solid solution temperature and hardness of GY157 steel

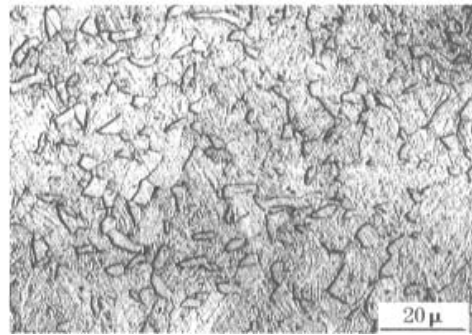


图 2 经 1060℃固溶处理后 GY157 钢金相组织照片
Fig.2 Metallograph of GY157 steel after solution treatment at 1060℃

3.2.2 冷加工强化

固溶处理的 GY157 弹簧钢丝,经过冷拉加工变形,产生应力诱发马氏体相变,钢的组织 and 性能都发生了明显的变化.图 3 为 GY157 弹簧钢固溶处理后冷加工形变量对其强度的影响.从图 3 可以看出,

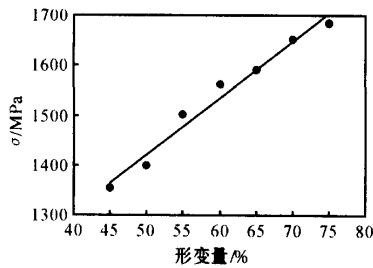


图 3 冷加工形变量对钢丝性能的影响
Fig.3 Effect of deformation amount from cold working on property of steel wire

钢丝的强度与冷拉形变量成正比.而沉淀硬化半奥氏体钢丝冷拉容易出现以钢中氧化物夹杂或其它缺陷(如气泡、发纹等)为裂纹源、以冷拉形成的马氏体

脆性为起因的冷拉应力裂纹.钢丝强度愈高,马氏体脆性愈大,钢丝冷拉减面率愈大,应力破裂倾向愈大.图 4(a),(b),(c)分别为 GY157 弹簧钢形变量 40%,60%,75%时的金相组织照片.从金相观察中可清楚地看到原先的奥氏体和铁素体均发生变形,

(c) 形变量 75%

图 4 GY157 钢的金相组织
Fig.4 Metallographic structure of GY157 steel

晶粒被拉长.变形程度加大时,晶粒被拉长至近平行排列(图 4c).透射电子显微(TEM)分析发现,变形后奥氏体已大部分转变为板条马氏体,如图 5 和图 6 所示.根据用户对弹簧钢丝综合性能的要求,选择 GY157 钢丝的冷拉形变量为 60%.

GY157 弹簧钢冷拉时冷加工硬化严重,产生裂

纹几率大,裂纹扩展较快,故拉拔时应适当减小道次减面率,增加拉拔道次,同时注意添加润滑涂层,防

止钢丝与拉丝模粘结,造成划伤.

图 5 40%形变量的 TEM 分析照片
Fig.5 TEM analysis for 40% of deformations amount

图 6 60%形变量的 TEM 分析照片
Fig.6 TEM analysis for 60% of deformations amount

3.2.3 时效处理

时效处理的目:消除弹簧在冷加工和缠绕时的应力,稳定弹簧形状和尺寸;产生沉淀硬化效应,使弹性大幅度提高.图 7 为经固溶处理和 60%冷拉形变量后,时效温度和硬度之间的关系(时效时间为 1 h).从图 7 可以看出,时效处理温度为 480℃,保温 1 h, GY157 钢的硬度达到 HRC50.

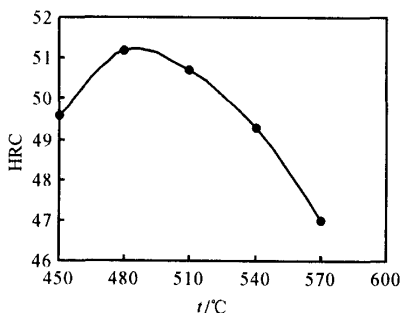


图 7 时效温度对 GY157 钢硬度的影响
Fig.7 Effect of aging temperature on hardness of GY157 steel

4 结 论

根据装甲车通信天线对弹簧材料的性能要求,确定了 GY157 弹簧钢丝的成分范围,采用真空感应冶炼+电渣重熔的冶炼工艺,通过 CH 工艺冷加工强化,可使 GY157 弹簧钢丝具有良好的综合性能.经用户试用,可满足其特殊使用要求.

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.
- [2] 臧鑫士. 沉淀硬化不锈钢的组织 and 性能[J]. 材料工程, 1992, (3): 51 - 56.
- [3] 徐效谦. 不锈钢弹簧钢丝的冷加工硬化[J]. 金属制品, 1993, (6): 5 - 9.
- [4] 吴武谦. 沉淀硬化不锈钢弹簧钢丝的研究[J]. 大连特殊钢, 1985, (2): 119 - 127.
- [5] 陆世英, 张廷凯, 康喜范, 等. 不锈钢[M]. 北京: 原子能出版社, 1995.

Preparation of GY157 special spring steel wire

LIU Zhi-jian, ZHENG Fu-sheng, XIAO Jun-ping, LIU Yu-hua
(Guangdong Research Institute of Iron and Steel, Guangzhou 510640)

Abstract: The paper introduces the trial-manufacture of GY157 special spring wire for armored vehicle's antenna. The chemical composition range of the spring steel was defined. After smelted by vacuum induction and electro-slag remelting, and enhanced by the CH technique of cold - working, the special spring wire can obtain the excellent mechanical properties($\sigma_b > 1600$ MPa, HRC > 48).

Key words: spring steel; smelting; hot working; cold working; wire drawing; strengthening