

表面处理工艺对42CrMo钢刀轂的影响研究

游菲, 姜影, 王玉才, 沈子达, 黄俏梅

株洲中车天力锻业有限公司 湖南株洲 412001

摘要: 刀轂重复使用需保证其装配尺寸在有效范围, 因此研究不同表面处理工艺对尺寸变化的影响具有现实意义。对比研究了激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺对42CrMo钢成品盾构环形刀轂尺寸的影响。结果表明: 成品环形刀轂(每组20件)经激光淬火后外径尺寸变化为 $-0.012 \sim -0.008\text{mm}$, 内径尺寸变化为 $-0.013 \sim -0.007\text{mm}$; 中频感应淬火后外径尺寸变化量为 $-0.180 \sim 0.130\text{mm}$, 内径尺寸变化为 $-0.120 \sim 0.120\text{mm}$; 整体渗氮后外径尺寸变化为 $-0.015 \sim 0.015\text{mm}$, 内径尺寸变化在 $-0.020 \sim 0.005\text{mm}$; 淬硬层深度分别为0.6mm、3.5mm、0.3mm。综合对比试验结果, 激光淬火工艺对尺寸变化的影响最小, 淬硬层深度适中, 是最优的工艺方案。

关键词: 42CrMo钢; 激光淬火; 中频感应淬火; 整体渗氮

Researched on the influence of surface treatment process on 42CrMo steel blade hub

YOU Fei, JIANG Ying, WANG Yucai, SHEN Zida, HUANG Qiaomei

Zhuzhou CRRC Timly Forge Co., Ltd., Zhuzhou, 412001, Hunan, China

Abstract: It is necessary to ensure that its assembly dimensions are within the effective range after repairing the wear of the finished annular cutter hub. Therefore, researching the impact of different repair processes on dimensional changes has practical significance. This paper compares and studies the effects of three surface treatment processes, namely laser quenching, intermediate frequency quenching, and overall nitriding, on the size of the 42CrMo finished shield tunneling ring cutter hub. The results showed that the outer diameter size of the finished annular cutter hub (20 pieces/group) changed by $-0.012 \sim -0.008\text{mm}$ and the inner diameter size changed by $-0.013 \sim -0.007\text{mm}$ after laser quenching; The change in outer diameter size after intermediate frequency quenching is $-0.180 \sim 0.130\text{mm}$, and the change in inner diameter size is $-0.120 \sim 0.120\text{mm}$; The change in outer diameter size after overall nitriding is $-0.015 \sim 0.015\text{mm}$, and the change in inner diameter size is $-0.020 \sim 0.005\text{mm}$; The depth of the hardened layer is 0.6mm, 3.5mm, and 0.3mm, respectively. Based on the comprehensive comparative test results, the laser quenching process is optimal process solution has the smallest range of dimensional changes and a moderate depth of the hardened layer.

Keywords: 42CrMo steel; laser quenching; intermediate frequency induction quenching; overall nitriding

1 序言

隧道掘进机是衡量一个国家装备制造水平高低

的重大核心装备之一, 具有机械化程度高、施工速度快、安全性高等优点, 目前在内地地铁、隧道、

第一作者: 游菲, 硕士研究生, 主要从事金属材料热处理及表面改性的研发工作, E-mail: youfeixcited@163.com。

引水及城市管网等重大项目的盾构施工中广泛应用^[1]。隧道掘进装备面临盾构刀具等关键零部件易磨损、低寿命的问题,极大地降低了掘进效率,增加了项目成本。在项目施工过程中,大部分零部件并不是受力部件,而是只起到辅助作用。因此为了降低项目成本,可以考虑将此类零部件进行修复后重复使用,但由于零部件之间相互配合,在修复过程中需保证零部件的尺寸变化量不超出装配公差,因此配合件磨损后修复重新安装使用是一种经济可靠的途径^[2-6]。

由于表面热处理过程存在相变和表层热应力,降低刀靱表层的变形,提高产品的表面耐磨性,获得不同工艺的整体尺寸的变化^[7-8],因此研究不同表面热处理工艺控制刀靱整体变形量具有现实意义,同时不同表面热处理工艺所得到的淬硬层深度大小对刀具的耐磨损性能具有重要影响^[9-11]。

42CrMo是一种中碳低合金结构钢,被广泛应用于机械制造行业。国内外研究关于42CrMo钢常见的表面处理工艺有渗氮、涂层技术、高频感应淬火与激光淬火等^[5-6, 8],但无具体工艺方法对刀靱产品处理后的尺寸变化的研究。本文针对42CrMo钢刀靱,对比研究了激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺对42CrMo钢刀靱尺寸的影响,分析表面处理后变形数据,形成经验数据,以期对刀靱重复利用提供实践参考。

2 试验材料与方法

采用某型42CrMo钢刀靱产品,规格尺寸如图1所示,其化学成分技术要求见表1。

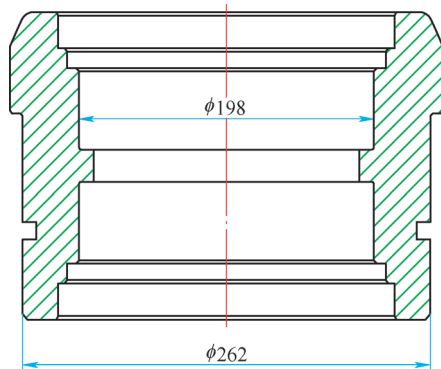


图1 刀靱规格尺寸

为了研究激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺对42CrMo钢成品环形刀靱尺寸的

影响,特制定3种工艺方案,见表2。每种工艺方案各选择20件产品进行试验,待产品和量具恒温时,采用Explorer performance 12.30.10桥式坐标测量机(见图2)对成品环形刀靱的内径和外径分别进行表面处理前后尺寸的测量。

表1 刀靱化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
0.38~0.45	0.17~0.37	0.5~0.8	≤0.03	≤0.035	0.9~1.2	0.15~0.3

表2 工艺方案

处理工艺	工艺参数
激光淬火	加热功率1950W, 光标移动速度20mm/s, 产品自转速度1.3r/min
中频感应淬火	加热功率340kW, 感应器移动速度120mm/min, 产品自转速度20r/s
整体渗氮	预氧化、均温、强渗、扩散



图2 桥式坐标测量机

3 试验结果及分析

3.1 不同表面处理工艺对42CrMo钢成品环形刀靱尺寸的影响

激光淬火对42CrMo钢成品环形刀靱尺寸的影响如图3所示。从图3可知,环形刀靱经激光淬火后外径尺寸变化大部分在-0.012~-0.008mm,部分在-0.004mm以内;内径尺寸变化大部分在-0.013~-0.007mm,极少数不在此范围内。与未处理前相比,内外径尺寸变化趋势均呈现缩小的趋势,并且变化幅值内外径相差很小。此方法是利用激光束照射到产品表面,瞬间加热,加热和冷却速度快,热影响区小,对产品变形影响较小。

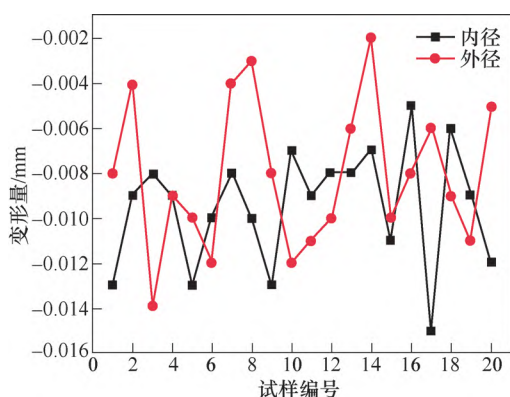


图3 激光淬火对成品环形刀毅尺寸的影响

表面中频感应淬火工艺对42CrMo钢成品环形刀毅尺寸的影响如图4所示。由图4可知,经中频感应淬火后,外径尺寸变化为 $-0.180 \sim 0.013\text{mm}$,内径尺寸变化为 $-0.120 \sim 0.120\text{mm}$ 。与未处理前相比,内外径的变化趋势均有增大或缩小的现象,并且变化幅值内外径相差不大。表面中频感应淬火工艺加热均匀,但数据较分散。

整体渗氮工艺对成品环形刀毅的影响如图5所示。由图5可知,成品环形刀毅经整体渗氮后,外径

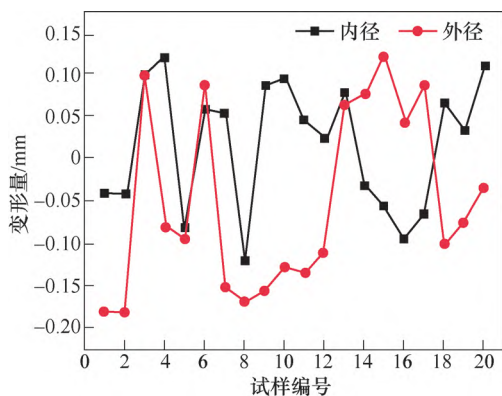


图4 中频感应淬火对成品环形刀毅尺寸的影响

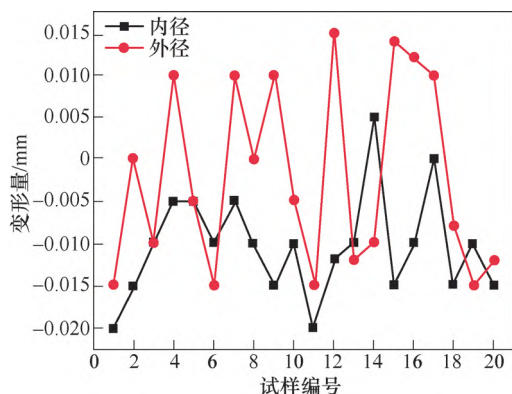


图5 整体渗氮对成品环形刀毅尺寸的影响

尺寸变化为 $-0.015 \sim 0.015\text{mm}$,内径尺寸变化为 $-0.020 \sim 0.005\text{mm}$ 。与未处理前相比,内外径尺寸变化趋势均有增大或缩小的现象,并且变化幅值内外径比内径大。整体渗氮工艺为在氮气气氛下整体加热的一种工艺方法,温度较低,变形量较小。

3.2 不同表面处理方式对42CrMo钢成品环形刀毅尺寸影响数据离散性分析

平均差是各变量值与平均值之差的绝对值总和除以总数,即

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_n - \bar{x}|}{n} \quad (1)$$

式中 M_d ——平均差;

i ——组数据中某一数据的编号;

x_n ——组数据中的某一数据;

$\bar{x}$ ——组数据的平均值;

n ——组数据的总数。

将激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺所得到尺寸变化数值带入式(1)得尺寸变化平均差分别为 $M_{d1} = 0.0045$, $M_{d2} = 0.1510$, $M_{d3} = 0.1438$ 。由此可知,表面激光淬火对刀毅尺寸影响最小。

3.3 不同表面处理方式对42CrMo钢成品环形刀毅淬硬层深度的影响

对激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺所得到的试样在相同位置取样分别进行淬硬层深度检测,结果如图6所示。由图6可看出,激光淬火淬硬层深度约为 0.6mm ,中频感应淬火淬硬层深度最深约 3.5mm ,整体渗氮处理淬硬层深度约为 0.3mm 。

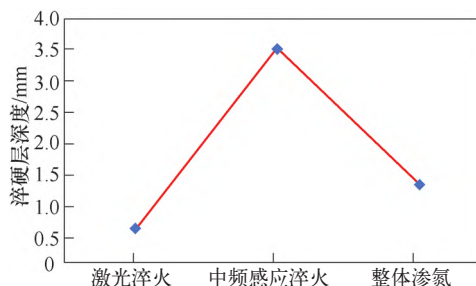


图6 不同表面处理工艺对淬硬层深度的影响

3.4 不同表面处理方式对42CrMo成品环形刀毅淬表层硬度的影响

对激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺所得到的试样在相同位置刀毅的外

圆底部、中部、上部分别取样进行硬度检测,结果如图7所示。由图7可看出,激光淬火表面硬度平均值为51.83HRC,中频感应淬火表面硬度平均值为50.43HRC,整体渗氮处理表面硬度平均值为57.70HRC。渗氮层的硬度最高,激光淬火与中频感

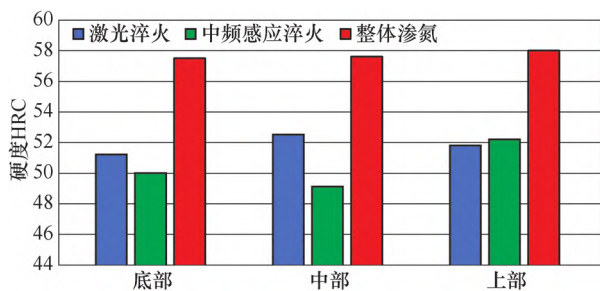


图7 不同表面处理工艺对表面硬度的影响

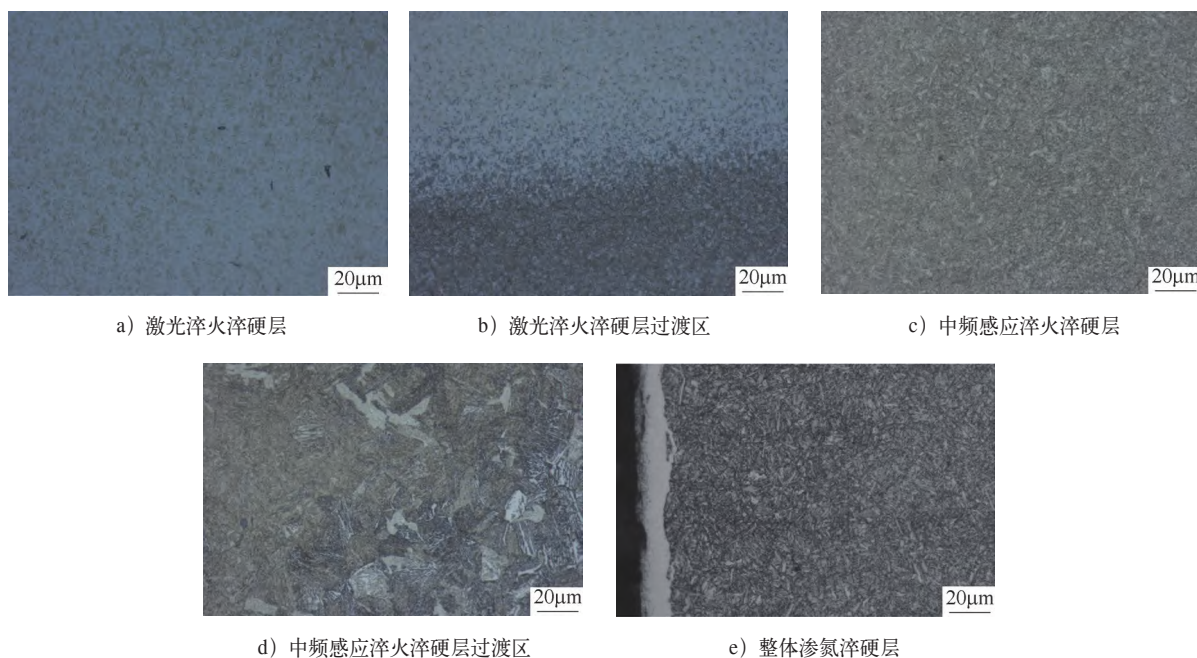


图8 不同表面处理工艺淬硬层金相组织

4 结束语

- 1) 相比中频感应淬火、整体渗氮工艺,成品环形刀轂经激光淬火后内外径尺寸变化最小。
- 2) 激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮淬硬层深度,分别为0.6mm、3.5mm、0.3mm。
- 3) 激光淬火淬硬层组织均匀细小,且淬硬层与内部组织过渡区无组织突变,晶粒尺寸均较细小。
- 4) 激光淬火工艺对尺寸变化范围最小,淬硬层深度适中,使用条件好,是最优工艺方案。

参考文献:

[1] 陈馈, 杨延栋. 中国盾构制造新技术与发展趋势[J].

应淬火相差不大。

3.5 不同表面处理方式对42CrMo成品环形刀轂淬硬层组织的影响

激光淬火、中频感应淬火、整体渗氮3种表面处理工艺所得到的处理试样在相同位置取样进行淬硬层金相组织如图8所示。其中,激光淬火淬硬层组织均匀细小(见图8a);淬硬层与内部组织过渡区组织细小均匀,无明显组织突变(见图8b);中频感应淬火淬硬层组织均匀(见图8c),但淬硬层与内部组织过渡区组织存在明显组织突变,晶粒尺度变化较大(见图8d)。整体渗氮淬硬层组织,且淬硬层与内部组织过渡区组织存在明显组织突变(见图8e)。

隧道建设, 2017, 37 (3): 276-284.

- [2] 朱立华, 于文慧, 亓东峰, 等. 激光表面强化与微纳制造技术研究进展[J]. 材料保护, 2024, 57 (8): 130-146.
- [3] 王琦, 龙伟民, 苗晋琦, 等. 盾构环形刀轂硬质合金激光表面处理研究现状[J]. 材料保护, 2021, 54 (5): 131-137.
- [4] 钟厉, 王佐钰, 门昕皓, 等. 42CrMo钢的钛催渗等离子渗氮工艺[J]. 金属热处理, 2023, 48 (5): 252-258.
- [5] 杜成明, 李勇, 孙影, 等. 42CrMo钢表面激光淬火硬化试验研究[J]. 材料保护, 2022, 55 (7): 160-167. (下转第91页)

火温度为260℃，虽然不在回火脆性区间，但并不能排除回火脆性导致的脆性断裂。该材料基体硬度较高，裂纹的应力强度提高，晶界发生弱化，材料脆性沿晶断裂倾向较大。

后续对该失效零件进行镀镉钝化处理，钝化处理前对零件进行酸洗处理，以除去零件表面的氧化物等，镀镉钝化槽液中质量分子较小的氢原子容易扩散到波形弹簧的波峰应力集中部位，氢原子停留在镀层底部，一段时间后，则会扩散到金属内部，主要位置为金属内部缺陷处或应力集中部位，氢原子很难扩散出来。波形弹簧工作一段时间后出现断裂现象，这不仅影响产品的质量，还直接影响其使用寿命^[11, 12]。失效波形弹簧上人为打断的断口宏观形貌有塑性变形，微观形貌为韧窝+沿晶的混合断口，晶面平坦，没有附着物，有明显的撕裂棱，具有氢致延迟脆性断裂的特征，说明该批波形弹簧存在脆性断裂倾向。

综上所述，该失效零件基体硬度较高，零件对氢的敏感性增加，在镀镉钝化处理时，未及时除氢或除氢不彻底，导致较多氢原子渗入了金属内部，扩散、聚集在零件应力集中的位置，在外加载荷等应力作用下，最终导致波形弹簧发生氢致延迟脆性断裂。

4 结束语

1) 波形弹簧断裂性质为氢致延迟脆性断裂。

2) 波形弹簧硬度偏高，脆性倾向较大。建议调整热处理工艺，降低硬度至技术要求的下限值（44~45.5HRC）。

3) 波形弹簧镀镉工艺除氢不及时和不彻底，氢原子扩散诱发断裂。建议控制该零件的除氢间隔时

间（≤2h），延长除氢时间（200℃×24h），降低氢原子的扩散。

参考文献：

- [1] 李宾. 65Mn弹簧钢激光焊接研究[D]. 贵州：贵州大学，2008.
- [2] 曹扬. 波形弹簧力学性能研究及其在电动机中的应用[J]. 机械制造，2018，56（12）：52-55.
- [3] WANG B, LIU D D, DONG Z Q, et al. Controlled rolling and cooling process of spring steel 65Mn[J]. Applied Mechanics & Materials, 2015, 713-715: 2624-2626.
- [5] 赵志江，杨宝利. 弹簧的氢脆断裂特征与原因分析[J]. 国防技术基础，2006（8）：41-43.
- [6] 闫敬明，张骏，郑准备. 350MW超临界直流锅炉高旁阀阀杆断裂原因分析[J]. 金属加工（热加工），2023（6）：65-68.
- [7] 林文钦，郑洪，朱丽，等. 50CrVA弹簧断裂原因分析[J]. 失效分析与预防，2016，11（1）：56-59.
- [8] 商红武，安茂忠，杨培霞. 电镀过程中氢脆的产生及其抑制措施[J]. 电镀与涂饰，2008，27（12）：4-7.
- [9] 张长英. 65Mn钢波形弹簧的热处理工艺[J]. 金属热处理，2009，34（2）：95-98.
- [10] 夏恭忱，石玉珍. 中国航空材料手册[M]. 北京：中国标准出版社，1988.
- [11] YING L I, HOU X Q, TAO C H. Surface defect analysis of 65Mn steel spring[J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36（10）：95-97.
- [12] 刘春燕，吉卫，李敬民，等. 65Mn钢波形弹簧的热处理工艺研究[J]. 热加工工艺，2016，45（22）：242-244.

MW 20240702

（上接第87页）

164.

- [6] 唐泽浩，张群莉，黄华，等. 42CrMo钢激光-感应复合淬火淬硬层几何特征及组织[J]. 稀有金属材料与工程，2022（7）：51.
- [7] 郑业方，姜影，谢小军，等. 热处理对铬钼钢环形刀榫畸变的影响[J]. 金属热处理，2021，46（3）：113-115.
- [8] 张群莉，李国昌，董浩，等. 42CrMo钢激光-电磁感应复合淬火过程应力与变形研究[J]. 表面技术，

2024（4）：1-16.

- [9] 姜影，杜水明，黄俏梅，等. 淬火工艺对42CrMo钢刀榫淬硬层深度及力学性能的影响[J]. 金属热处理，2023，48（9）：88-91.
- [10] 卢金鹏. 42CrMo钢表面的非稳态氮扩散行为及摩擦学研究[D]. 烟台：烟台大学，2024.
- [11] 何闯，刘德涛，孔德军. 高频淬火加热时间对35CrMo钢的摩擦磨损性能影响[J]. 材料科学与工艺，2024（11）：1-11.

MW 20241101