

文章编号:1672 - 058X(2012) 07 - 0082 - 05

低碳钢固体渗碳的实验与研究

廖 西 平

(重庆工商大学 机械工程学院, 重庆 400067)

摘 要:对 20、20CrMoV 钢的固体渗碳进行了较全面的实验及研究, 包括钢的预备热处理、渗碳工艺、金相组织、最终热处理等; 分析了渗碳层、硬度的影响因素, 并总结摸索出固体渗碳的基本规律和工艺技术; 实验证明: 固体渗碳工艺简单、操作简单、成本低廉, 不需要专门设备; 渗碳件在性能上完全能够达到常规渗碳的要求, 但固体渗碳的渗碳层偏薄, 时间较长, 只能适应单件、小批量的生产。

关键词:固体渗碳; 金相组织; 渗碳层; 硬度

中图分类号: TG115

文献标志码: A

渗碳是一种最常见的化学热处理, 是汽车、摩托车变速齿轮最典型的表面强化方法, 应用极为广泛。目前, 渗碳主要采用气体渗碳, 它适应于大批量专业化生产, 技术成熟, 质量稳定, 但投资较大, 需要专门的渗碳炉。而固体渗碳工艺简单、操作灵活、成本低。基于上述原因, 就固体渗碳做了相关的实验和研究。

1 实验方法及步骤

实验选用 20、20CrMoA 钢作比较, 共进行了 5 轮固体渗碳试验。现将这些试验方法、数据等集中在表 1、表 2。第一轮试验样品全部采用 20 钢, 以不同的方法进行固体渗碳。第二轮则是 20CrMo A 钢。固体渗碳试验工艺及结果见表 1、表 2。

表 1 第 1 - 2 轮固体渗碳实验工艺及结果

编号	钢号	固体渗碳配方(质量分数, %)	渗碳工艺	渗层厚/mm	说 明
C1-1	20	木炭 75, BaCO ₃ 20, CaCO ₃ 5	940 ℃ × 5 h	0. 45	
C1-2	20	木炭 95, BaCO ₃ 4, Na ₂ CO ₃ 1	940 ℃ × 5 h	0. 53	
C1-3	20	木炭 95, BaCO ₃ 5,	940 ℃ × 5 h	—	渗碳层不明显
C1-4	20	木炭 80, NaCO ₃ 10, 黄血盐 10	940 ℃ × 5 h	0. 47	
C2-1	20CrMoA	木炭 75, BaCO ₃ 20, CaCO ₃ 5	940 ℃ × 6 h	0. 43	
C2-2	20CrMoA	木炭 95, BaCO ₃ 4, Na ₂ CO ₃ 1	940 ℃ × 6 h	—	渗碳层不明显
C2-3	20CrMoA	木炭 95, BaCO ₃ 5	940 ℃ × 8 h	0. 5	
C2-4	20CrMoA	木炭 80, Na ₂ CO ₃ 10, 黄血盐 10	940 ℃ × 8 h	0. 5	

第 1 轮固体渗碳实验证明,实验基本可行,大多数形成一定厚度的渗层(一般要求是 $0.5 \sim 2.0 \text{ mm}^{[1]}$)。金相观察组织见图 1。随后进行第 3-4 轮实验。第 3 轮实验为预备热处理,第 4 轮实验是在预备热处理的基础上再进行更长时间的渗碳。观察渗碳效果,结果见表 2。

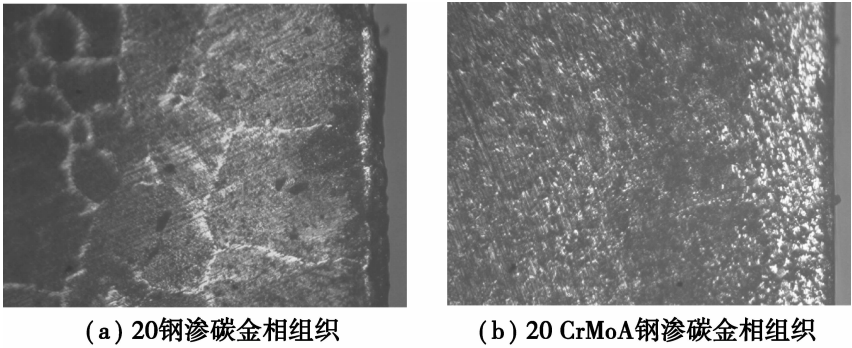


图 1 两种钢固体渗碳比较

表 2 第 3-4 轮固体渗碳实验工艺及结果

编号	钢号	预备热处理	渗碳配方	渗碳工艺	渗层厚/mm	说 明
C3-1	20	正火	与 C1-2 渗碳相同	920 ℃ × 7 h	0.56	950 ℃ × 15 min
C3-2	20	调质	与 C1-2 渗碳相同	920 ℃ × 7 h	1.05	950 ℃ 水淬
C3-3	20	正火 + 高温回火	与 C1-2 渗碳相同	920 ℃ × 7 h	0.44	630 ℃ × 1.5 h
C3-4	20CrMoA	正火	与 C2-1 渗碳相同	920 ℃ × 10 h	0.34	
C3-5	20CrMoA	调质	与 C2-1 渗碳相同	920 ℃ × 10 h	0.26	
C3-6	20CrMoA	正火 + 高温回火	与 C2-1 渗碳相同	920 ℃ × 10 h	0.34	

注:调质处理中的高温回火与“正火 + 高温回火”中的高温回火相同。C3-1 与 C3-3 的正火相同。

经过 4 轮实验,获得许多重要数据及结果,渗碳金相图见图 2。下面进行分析研究。

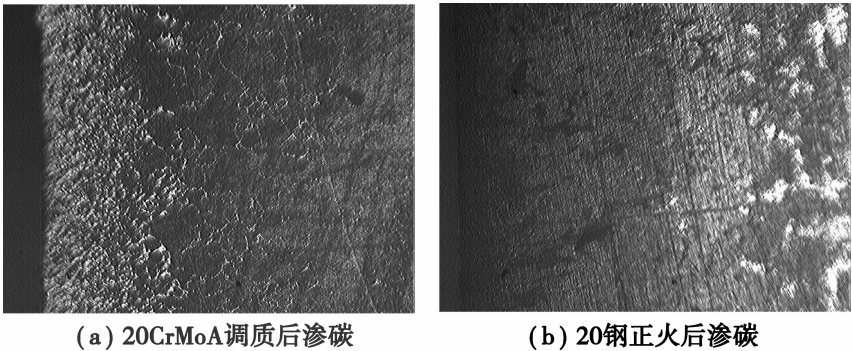


图 2 预备热处理后两种钢的渗碳金相组织比较

2 实验结果与分析

分别对两种钢的渗碳层、表面硬度、心部硬度及影响因素进行分析研究。

2.1 渗碳层

渗碳层的质量好坏,主要看 3 点:渗碳层的厚度,硬度,碳化物的种类和形态分布。对于汽车齿轮、凸轮

等较大的零件来说,渗碳层应为 0.85 ~ 1.05 mm。但是对于摩托车齿轮、摇臂轴、活塞销等小型零件,一般 0.5 mm 就可以了。因为零件磨损了 0.5 mm 深已经失去应有的精度和功能。

在实验中发现,渗碳层经过 5 h 渗碳后,厚度达到 0.45 ~ 0.50 左右后就不再加深。如经过 8h 后渗碳层仍为 0.50 mm。主要原因分析如下:

(1) 物理层阻碍。可以把固体渗碳看成多层渗碳。如图 3 所示。工件周围沿径向分成多层:1、2、……,N 层。显然,后面几层产生的 CO 气体受到里层的物理阻碍,不容易到达工件表面,作用减弱,不如第 1 层。所以真正起到渗碳作用的只有最里面几层。渗碳层厚自然不如气体渗碳,因为气体渗碳无物理层阻碍现象。

(2) 积炭现象。据观察,工件渗碳后表面存在不同程度的积炭。当渗碳时间到达一定后,工件表面碳浓度升高到一定值后,主要矛盾是工件表面的碳向里扩散,而不是吸附 CO 气体中的碳。但是渗碳过程没有降温,所以 CO 气体产生速度一直较快,当工件表面堆积了较多从 CO 气体分解出来的碳时,工件无法及时吸附和消化,这样多余的活性碳原子就互相结合为碳分子,并沉积在工件表面,即积炭。这些积炭层严重地阻碍了进一步的渗碳。所以一旦形成积炭。渗碳层就不再加厚。即使 10 h 渗碳就不增加厚度。

(3) 配方和合金元素的影响。在第 3、4 轮试验中发现,20CrMoA 的渗碳层厚度偏薄。经分析原因有 2 点:① 配方中木炭百分比偏低,只有 75%;② 钢合金元素多,这些强碳化物形成元素迅速与活性碳原子形成碳化物,进而减少了向里扩散的碳原子,表面形成密集的碳化物也阻碍了碳原子继续向里扩散,所以渗碳层偏薄。应当采取相应措施,如在第 5 轮试验中,木炭增加到 95%,BaCO₃或、CaCO₃ 为 5% 时,加热工艺不变,渗碳厚度普遍上升,6 个试样的渗碳层分别从 0.26 ~ 0.34 增加到 0.4 ~ 0.50 mm。

2.2 渗层硬度

硬度可分为表层硬度和心部硬度,两者都是渗碳层的重要指标。

(1) 表层硬度。一般要求为 58 ~ 63HRC^[2]。硬度太高会导致脆性增大,在强烈载荷冲击下会发生断齿。此外,渗碳层还要有残余压应力,以提高抗疲劳强度。

从实验中看出,渗碳件基本达到理想的表面硬度,不论是 20 钢还是 20CrMoA 钢(除个别异常情况外),渗碳后经过淬火 + 190 ℃ 低温回火,表面硬度见表 3。

表 3 渗碳件的表面硬度和心部硬度

编号	钢号	预备热处理	渗碳工艺	渗层厚 /mm	表面硬度 /HRC	心部硬度	说明
C4-1	20	正火	920 ℃ × 7 h	0.56	62	43 - 49	
C4-2	20	调质	920 ℃ × 7 h	1.05	59	26 - 28	偏低
C4-3	20	正火 + 高温回火	920 ℃ × 7 h	0.44	60	35 - 36	
C4-4	20CrMoA	正火	920 ℃ × 10 h	0.34	61	34	
C4-5	20CrMoA	调质	920 ℃ × 10 h	0.26	62	23	偏低
C4-6	20CrMoA	正火 + 高温回火	920 ℃ × 10 h	0.34	58	37	

注:调质处理中的高温回火与“正火 + 高温回火”中的高温回火相同,所有工件的正火工艺相同。

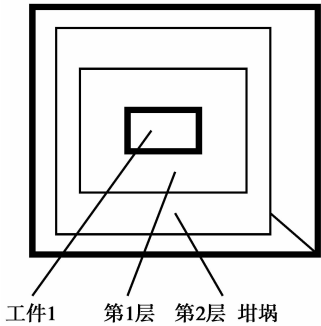


图 3 固体渗碳示意图

(2) 心部硬度。汽车渗碳齿轮一般要求心部硬度为 33 – 48 HRC^[3]。从表 3 中看出,除了预备热处理为调质外,其他工件的心部硬度均符合要求。至于 C4-2、C4-5 编号的工件硬度低,主要原因是调质中的回火温度高(630 ℃ × 1.5 h),导致索氏体晶粒粗大,出现了铁素体组织,对以后渗碳 + 淬火 + 低温回火的硬度仍有潜在的影响,为了提高 C4-2、C4-5 编号工件的心部硬度,同时也检验一下回火温度对所有工件心部硬度的影响。故再次重复表 3 的试验(全部式样改为 20CrMoA 钢),不过所有需要高温回火的工件,回火温度均下调到 560 ℃ × 1.5 h,并在渗碳后的淬火 + 低温回火中,回火温度下调到 175 ℃(原回火温度为 190 ℃)。经检测 6 个样品的心部硬度全面上升,分别为:55、54、55、45、53、52 HRC。由此可见,预备热处理中的高温回火温度和淬火后的低温回火温度是影响工件心部硬度的主要因素,尤其是高温回火温度。如果心部硬度偏高了,可以将高温回火温度定在 580 ℃ 或 600 ℃,以便使心部硬度达到 33 – 48 HRC。

2.3 碳化物的形态

20 CrMoA 有许多强碳化物形成元素,所形成的碳化物(合金碳化物)与 20 钢的碳化物(Fe₃C)大不一样。见图 1(a)、(b)。合金碳化物呈密集的颗粒状,具有一定的厚度,在硬度与 20 钢相同的情况下,其耐磨性肯定比 20 钢好。而 20 钢的碳化物呈粗大的网状(在缓冷中形成),见图 1(a)。容易导致渗层剥离脱落,或者开裂。不能用于有冲击、振动载荷的工况,如汽车齿轮等。但可以用在工作比较平稳的耐磨件上。图 4、图 5 表示经过不同预备热处理后的 20CrMoA 钢渗碳金相组织。

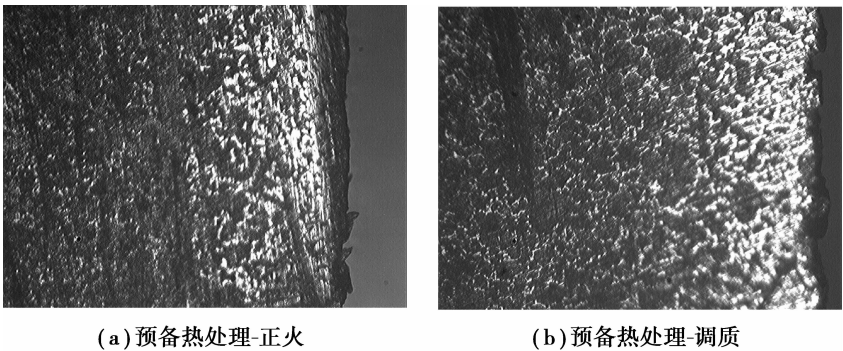


图 4 20CrMoA 钢预备处理后的渗碳组织

从图 4、5 可以看出,调质处理后,由于组织晶粒细小,导致渗碳后碳化物密集,往里层逐渐变稀,过渡良好。而正火处理的渗碳组织显得碳化物过渡不好,渗碳层和次外层界限比较分明。而图 5 所表示的正火 + 高温回火后,表层碳化物不明显,不密集。次外层晶粒有些偏大,渗碳层要稀疏一些,韧性会受此影响。

因此,预备热处理对渗碳组织有很大影响。要想获得理想的渗碳组织,就必须先获得细小的组织。经试验证明,调质是理想的预备热处理,因为它能获得细小的索氏体组织。

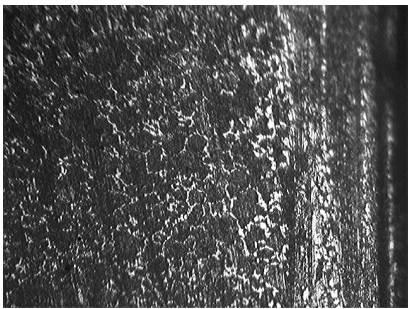


图 5 正火 + 高温回火后的渗碳组织

3 结 论

(1) 固体渗碳工艺简单,成本低,无需专门的渗碳设备。适应于小型零件的单件的表面热处理,特别是摩托车上需要渗碳的零件。

(2) 固体渗碳可以达到 0.5 mm 的渗碳层,硬度可达 58 – 62 HRC。由于碳原子渗入表面并形成密集碳

化物,产生残余压应力,故能提高抗疲劳强度。

(3) 与 20 钢相比,20CrMoA 钢 的合金碳化物密集于表面,层向里过渡良好,但渗碳层稍薄。

(4) 预备热处理对渗碳层组织和心部硬度有重要影响。凡是能细化晶粒的预备热处理,如调质,均能改善渗碳层的形态,提高耐磨性。此外,凡是包含高温回火的预备热处理,其回火温度的高低直接影响到心部硬度,回火温度高,心部硬度就低,反之则高。

今后,将进一步研究如何消除工件表面积炭的不良现象,如渗碳中期或后期降低渗碳温度,减少 CO 量的产生,进而减少过多的碳原子堆积在工件表面。但是如何掌握降温的时机和降温的幅度,还确实需要进行长期不断地实验研究。

参考文献:

[1] 崔忠圻,覃耀春. 金属学与热处理[M]. 北京:机械工业出版社,2007
[2] 齐宝森,陈路宾,王忠诚,等. 化学热处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006
[3] 才鸿年,马建平. 现代热处理手册[M]. 北京:化学工业出版社,2009

Experiment and Research on Solid-carburizing for Low Carbon Steel

LIAO Xi-ping

(School of Mechanical Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: The experiment of solid-carburizing process on 20 steel and 20CrMoV steel has been fully developed, which includes preparatory heat-treatment, carburizing craft, metallographic structure, the final heat-treatment, etc. This experiment analyzed the factors of carburizing coating and hardness, and the basic law and technology of solid- carburizing process have been worked out. The experiment has proved that solid- carburizing craft has several advantages such as simple process, easily to operate and control, low cost, and without special devices. The solid- carburizing product completely meets conventional requirement. However, solid-carburizing process has its disadvantages such as thin carburizing coating and too long total operating time, thus solid-carburizing only fits for the production of single-piece on small scale.

Key words: solid-carburizing; metallographic structure; carburizing coating; hardness

责任编辑:田 静