

Research on the Uniformity of the Hardness of Large Scale 5CrNiMoV Hot-Work Die Steel

Meimei Yang¹, Zhijie Guan²

¹China Metallurgical Information & Standardization Institute, Beijing

²China Metallurgical Industry Planning and Research Institute, Beijing

Email: yangmeimei1122@126.com

Received: Oct. 15th, 2015; accepted: Nov. 5th, 2015; published: Nov. 10th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The 5CrNiMoV hot-work die steel pretreatment after forging process was studied. The results showed that there were many undissolved carbides founded in the pretreatment of metallographic organization under the conventional process, belonging to subcooled organization; meanwhile the coarse microstructure from forging failed to eliminate, seriously affecting the subsequent quenching process, and its hardness uniformity was difficult to meet customer demand. Adopting recrystallization + high temperature normalizing heat treatment process of preparation, homogeneous and fine pseudo-eutectoid microstructure was gotten, and the time of spheroidizing annealing was also greatly shortened, providing a good pre-microstructure for subsequent quenching; thus it was realized that the uniformity of hardness from the surface to the core can be less than HRC 1.5, when the hardness is higher than 42 HRC.

Keywords

Pretreatment, Uniformity of Hardness, Pseudo-Eutectoid, Carbide

大规格5CrNiMoV热作模具钢的硬度均匀性研究

杨梅梅¹, 管志杰²

¹冶金工业信息标准研究院, 北京

²冶金工业规划研究院, 北京
Email: yangmeimei1122@126.com

收稿日期: 2015年10月15日; 录用日期: 2015年11月5日; 发布日期: 2015年11月10日

摘要

对5CrNiMoV热作模具钢锻后预处理工艺进行了研究。结果表明, 按常规工艺处理后, 5CrNiMoV热作模具钢的预处理金相组织存在大量未溶碳化物, 属于欠热组织, 同时锻造遗留下来的粗大组织未能消除, 严重影响了后续的调质热处理, 硬度均匀性难以满足客户需求。采用重结晶 + 高温固溶的预处理工艺, 获得了均匀细小的伪共析组织, 大大缩短了球化退火时间, 为后续调质处理提供了良好的组织准备, 实现了调质硬度 ≥ 42 HRC时, 芯表硬度差 $\leq \pm 1.5$ HRC。

关键词

预处理, 硬度均匀性, 伪共析, 碳化物

1. 前言

5CrNiMoV 钢是一种空冷硬化钢, 通常采用预硬化状态交货, 适合制造各种形状复杂, 冲击载荷大、工作温度不太高的大中型锤锻模及切边模, 是在 5CrNiMo 钢的基础上提高了 Cr、Ni、Mo 含量, 并加入了少量的 V, 同时大幅度降低 S、P 含量, 该钢既保留了传统模具用钢 5CrNiMo 良好的韧性、强度和高耐磨性, 又提高了钢水纯净度的要求, 同时为了达到模具钢良好的抛光性能, 加严了硬度均匀性的要求 [1]。

通常情况, 该钢的硬度要求为 38~42 HRC, 且厚度或直径一般 ≤ 400 mm, 超出此要求则改用其他材料。随着与日俱增的低成本追求, 挑战材料的指标极限逐渐成为当前技术发展的趋势, 本文将就直径 500 mm 的 5CrNiMoV 材料在硬度 ≥ 42 HRC 的情况下, 如何实现硬度均匀性(芯表硬度差) $\leq \pm 1.5$ HRC 展开研究。

2. 试验钢化学成分及要求

试验材料选自冲头模具用钢 5CrNiMoV 锻棒, 直径为 500 mm, 其化学成分如表 1 所示, 符合客户的技术要求。

2.1. 工艺路线

传统工艺: 模铸钢锭→加热→锻造→锻后空冷→球化退火→调质→探伤→取样检验→喷标→检斤入库。

新工艺: 模铸钢锭→加热→锻造→锻后快冷→高温固溶 + 球化退火→调质→探伤→取样检验→喷标→检斤入库。

2.2. 技术要求

硬度 40~45 HRC (内控标准为 42~45 HRC), 同截面硬度均匀性 ≤ 1.5 HRC, 显微组织无明显带状偏析, 无网状碳化物。

Table 1. Composition of test steel (wt%)

表 1. 试验钢化学成分(wt%)

	C	Si	Cr	Mn	P	S	Ni	Mo	V
标准	0.52~0.60	0.2~0.5	0.70~0.90	0.6~0.90	≤0.015	≤0.010	1.40~1.60	0.20~0.30	0.05~0.10
实际	0.55	0.30	0.78	0.72	0.009	0.005	1.45	0.22	0.09

3. 机理分析与试验工艺

5CrNiMoV 钢属于中碳合金钢, 因含有大量的 Cr、Mo、V 等元素, 容易形成网状碳化物和白点, 调质前须采用球化退火获得良好的预处理组织并降低白点敏感性。

球化退火工艺的主要目的是获得一种伪共析组织, 即铁素体基体上分布着均匀细小的球状碳化物。均匀细小的碳化物分布, 有利于后续淬火。传统的球化工艺是将工件锻后直接加热到 AC_1 以上 $20^{\circ}C \sim 30^{\circ}C$ 或者接近 AC_3 , 保温一段时间再缓慢降低至 Ar_1 以下进行保温。

由于锻后空冷, 芯部冷却速度较慢, 析出大量碳化物, 有的甚至呈网状, 直接进行球化退火, 加热温度较低, 网状碳化物很难被溶解, 还将阻碍 α 铁素体的软化和再结晶, 一定程度上阻碍了晶粒的细化。同时锻造过程中的变形晶粒也很难消除掉, 这就造成后续淬火加热过程中, 奥氏体固溶合金和碳的量降低, 晶粒粗大混晶, 淬火后硬度呈现不均性, 有些地方甚至出现软点。超快速冷却可抑制过共析碳化物在晶界处的网状析出, 降低网状级别, 减小了碳的扩散能力, 得到片层细小的伪共析组织, 并促进大量珠光体球团组织析出, 起到细化晶粒的作用[2]。

4. 工艺研究

4.1. 锻后预处理工艺研究

铸态合金钢因凝固时溶质原子再分布, 易导致凝固后合金元素的不均匀分布, 从而引起枝晶偏析, 同时因合金元素的偏析产生组织的不均匀分布, 这些现象严重影响热加工性能[3]。5CrNiMoV 钢除了采用严格的锻造工艺外, 锻后预处理工艺的选择对白点倾向和淬火加热组织以及力学性能均有十分明显的影响。为此我们对 5CrNiMoV 钢锻后的热处理工艺进行了较为深入的研究, 为后续淬火加热做好组织准备。试验采用的退火工艺如图 1 和图 2 所示。

由图 3 可见, 采用传统工艺退火的金相组织存在大量未溶碳化物呈网状分布, 虽然进行了长时间的球化退火, 但对于网状碳化物的消除效果不佳, 这种欠热组织对后续淬火十分不利, 同时, 来自锻造遗留的粗大组织也没有被消除。

5CrNiMoV 虽然为亚共析钢, 但由于成分偏析导致部分区域达到过共析成分, 在锻后冷却过程中就会容易沿晶界析出二次网状碳化物, 采用锻后快冷工艺可防止和减少网状碳化物的析出, 同时采用高温固溶 + 球化工艺可以保证锻后冷却过程析出的碳化物和先共析铁素体全部溶解, 正火采用快速水冷却, 有效地抑制了先共析相的二次析出, 同时在 Ar_1 以下等温停留, 确保过冷奥氏体充分分解, 并有效防止非平衡组织的产生, 避免了在随后的球化退火过程中组织遗传现象, 从而获得了铁素体基体分布着均匀细小的碳化物组织即伪共析组织, 这种组织不仅均匀细小有利于球化, 而且大大缩短了球化时间, 提高了生产效率, 为后续调质处理提供了良好的组织准备。

4.2. 调质工艺研究

将两种预处理材料采用 $840^{\circ}C$ 淬火 + $500^{\circ}C$ 回火的调质工艺处理, 调质后硬度检验结果如表 2 所示。

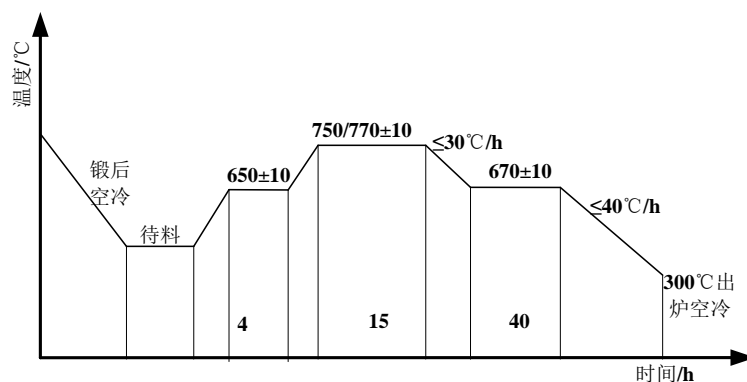


Figure 1. The curve of conventional preprocess
图 1. 传统预处理工艺

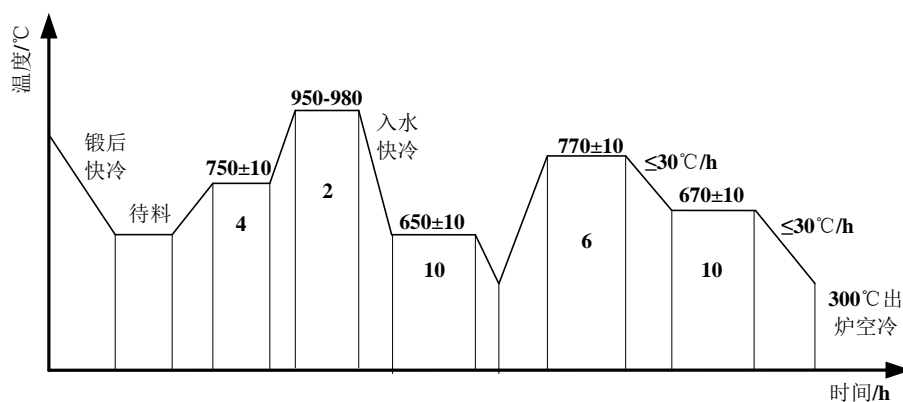


Figure 2. The curve of new process
图 2. 新工艺曲线

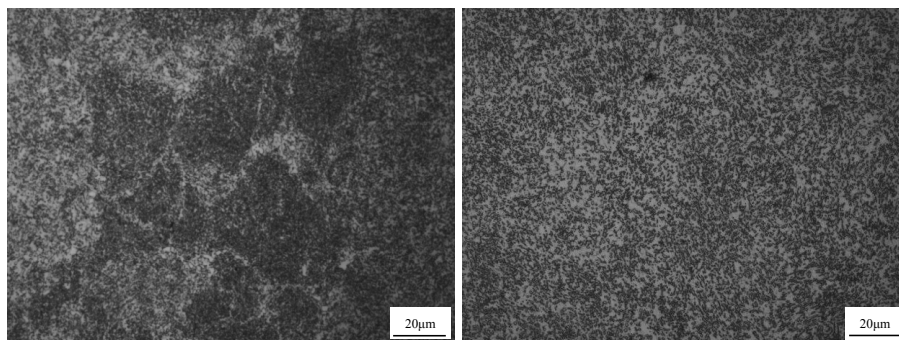


Figure 3. The comparison of the microstructure after two different pretreatment process (Left: conventional pretreatment process; Right: new pretreatment process)
图 3. 预处理显微组织对比(左: 传统工艺; 右: 新工艺)

Table 2. The comparison of tempering hardness with different preprocess
表 2. 不同预处理组织调质后的硬度对比

工艺路线	表面	1/2R	中心
传统预处理工艺	42~43 HRC	38~39 HRC	34~37 HRC
新工艺	43~44.6 HRC	42.8~44.1 HRC	42.2~43.1 HRC

由表 2 可见, 良好的预处理组织对于调质硬度均匀性改善效果显著, 经高温固溶 + 球化处理的材料调质后硬度均匀性可达 ± 1.2 HRC。

为了剖析硬度均匀性的差异, 对两种调质材料进行金相检验, 显微组织如图 4 所示。

传统球化预处理组织材料调质后金相组织存在一定量的未溶铁素体和碳化物, 组织粗大, 极易出现软点和硬度不均现象, 采用高温固溶 + 球化处理的材料调质后组织均匀细小, 几乎看不到未溶碳化物和铁素体, 这与表 2 的硬度值检测规律是一致的。

将采用传统球化退火工艺的预处理材料的淬火温度分别提高至 870℃ 和 890℃, 进行淬火, 500℃ 回火, 试图通过提高淬火温度以改善硬度均匀性。硬度检测数据和显微组织分别如表 3 和图 5 所示。

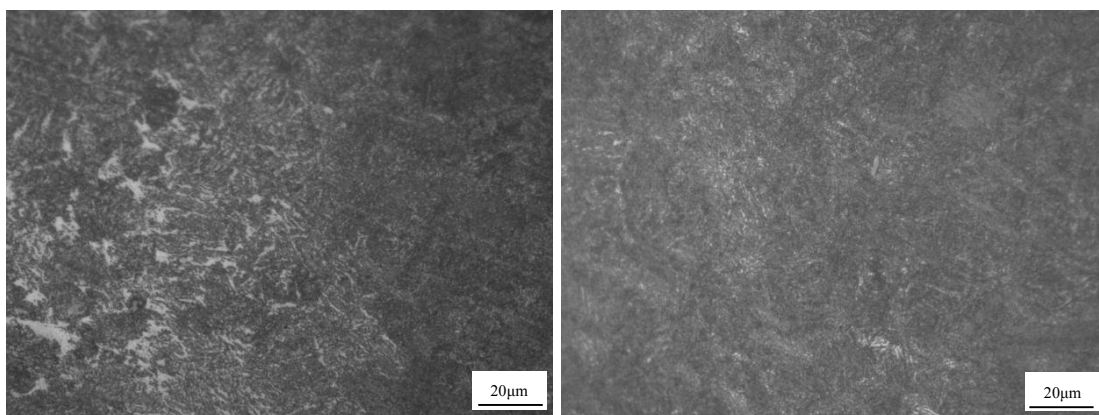


Figure 4. The comparison of the tempering microstructure with different preprocess (Left: conventional pre-treatment process; Right: new pretreatment process)

图 4. 不同预处理工艺材料的调质显微组织对比(左: 传统工艺预处理; 右: 新工艺预处理)

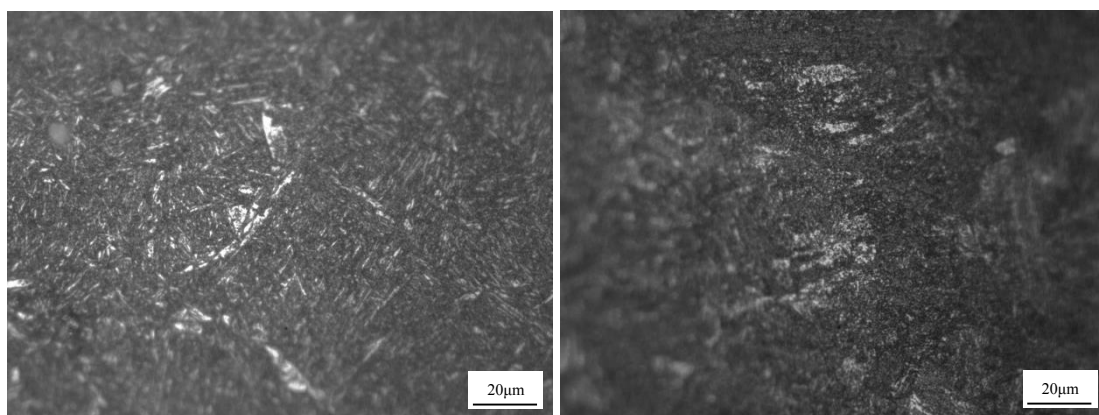


Figure 5. The comparison of tempering microstructure with different quenching temperature (Left: 870°C; Right: 890°C)

图 5. 传统球化工艺 + 不同淬火温度调质显微组织对比(左: 870℃; 右: 890℃)

Table 3. The comparison of tempering hardness with different quenching temperature

表 3. 传统工艺的预处理组织在不同淬火温度下调质硬度对比

工艺路线	表面	1/2R	中心
传统球化工艺 + 870 ℃ 火	42~43 HRC	38~39 HRC	37~38 HRC, 个别 34 HRC
传统球化工艺 + 890 ℃ 火	42~44 HRC	39~41 HRC	37~39 HRC, 个别 36.5 HRC

有表 3 可知, 在预处理组织不理想的情况下, 适当地提高淬火温度, 对于硬度均匀性和显微组织改善有一定的帮助, 由图 5 可以看出, 提高淬火温度, 铁素体和未溶碳化物比例明显降低, 但还保留一定的比例, 且组织相对较粗大, 这就是芯部硬度出现软点的原因。尽管提高淬火温度对硬度均匀性有一定改善, 但笔者不推荐这种方式, 因为尽管提高淬火温度, 硬度均匀性有所改善, 但组织中未溶碳化物和铁素体的比例依然较高, 调质后组织含有铁素体和未溶碳化物, 将给后续加工带来一定的麻烦, 铁素体的出现在锯切过程中将产生磁性, 造成铁屑依附在材料本体, 同时铁素体的加工硬化容易出现夹锯现象, 未溶碳化物在锯切或打孔时作为硬质点出现, 同样给加工带来困难。此外, 提高淬火温度, 晶粒开始粗化, 杂质元素富集, 淬火过程中开裂风险加大, 同时冲击韧性将有所降低, 影响模具的疲劳寿命。本文很遗憾, 没有采集到冲击韧性等力学性能数据, 将在后续研究中予以补充。

5. 结论

- 1) 锻后预处理工艺采用锻后快冷 + 高温固溶 + 球化退火, 可显著改善组织带状和碳化物网状问题, 获得了均匀细小的伪共析组织;
- 2) 均匀细小的伪共析组织, 为模具淬火提供了良好的组织准备, 从而获得了良好的硬度均匀性, 同时缩短了热处理周期;
- 3) 通过工艺对比试验, 找到了一种改善硬度均匀性的工艺路线, 实现了直径 500 mm 的 5CrNiMoV 调质棒材芯表硬度差在 ± 1.2 HRC 范围内, 显微组织中无明显的带状偏析和网状碳化物。

参考文献 (References)

- [1] 徐咏梅, 刘洪, 等. 波预硬化模具钢 SKT4—4M 锻制扁钢的试制研究[J]. 特钢技术, 2013, 10(4): 17-19.
- [2] 孙艳坤, 吴迪. 用超快速冷却新工艺生产 GCr15 轴承钢[J]. 钢铁研究学报, 2009, 21(1): 22-25.
- [3] 王建安. 金属学与热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.