

SKT4 模具钢的锻后热处理工艺

刘绍友¹, 叶喜葱^{1,2}, 陈实华¹, 熊昶寿¹, 何建武¹, 潘宗¹

(1. 武钢集团襄阳重型装备材料有限公司, 湖北 襄阳 441103;

2. 三峡大学机械与材料学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: SKT4 模具钢锻后经常规退火 + 扩氢退火热处理后, 其组织为粗大珠光体 + 块状铁素体, 组织偏析严重, 热处理效率低, 最终的热处理效果差。SKT4 模具钢的优化热处理工艺为正火 + 回火, 经优化工艺处理后, 该钢的组织为珠光体 + 细小铁素体, 组织明显细化。优化后工艺缩短了工艺周期, 提高了热处理效率, 达到了既能改善组织又避免氢脆的目的。

关键词: SKT4 钢; 锻后热处理; 组织; 氢脆

中图分类号: TG156.4 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2014)04-0126-03

Heat treatment process of SKT4 die steel after forging

Liu Shaoyou¹, Ye Xicong^{1,2}, Chen Shihua¹, Xiong Changshou¹, He Jianwu¹, Pan Zong¹

(1. Xiangyang Heavy Equipment Material Co., Ltd., Wuhan Iron and Steel Group, Xiangyang Hubei 441103, China;

2. School of Mechanical and Materials, China Three Gorges University, Yichang Hubei 443002, China)

Abstract: Microstructure of the forged SKT4 die steel after conventional annealing and hydrogen diffusion annealing was coarse pearlite and blocky ferrite, and the micro-segregation was serious. The efficiency of the conventional annealing process on the final results was low. The optimized heat treatment process for the SKT4 die steel is normalizing and tempering. After the optimal heat treatment, the microstructure of the SKT4 die steel is fine ferrite and pearlite, and it can be significantly fined by the optimal process. The optimal process can reduce heat treatment cycle, improve the efficiency, and fining the microstructure but can eliminate the hydrogen brittleness.

Key words: SKT4 steel; heat treatment after forging; microstructure; hydrogen brittleness

热锻模具在成形过程中,一方面在高温条件下,模具表面受到强烈摩擦和冲击力,另一方面还要受到冷却剂的激冷作用,由于承受冷热的交替作用,所以用于热锻模的钢应在 400 ~ 600 °C 下具有足够的强度、韧性与耐磨性。对于大型锻模来说,这就需要添加一定的合金元素来提高热作模具钢的淬透性,如添加 Cr、Ni、Mo 等,同时还要使模具钢的整体性能得到提高^[1-3]。SKT4 钢具有良好的韧性与耐磨性,400 ~ 600 °C 下的力学性能与室温下相比几乎不降低,并且该合金中添加了一定的合金元素,因此它还有较好的淬透性,故常用来制造大、中型热锻模。由于钢中添加了合金元素 Mo,其回火脆性不敏感,因此,SKT4 模具钢是一种应用较广泛的热作模具钢之一,该钢的不足之处是工作温度稍低,锻坯中易产生白点。由于该钢常规的热处理工艺是普通退火 + 扩氢退火,普通退火的温度比较低,冷却速率慢,很难消除锻后的模具毛坯中存在粗大晶粒、网、带及链状碳化物等缺陷,且扩氢退火的时间较长,严重影响热处理效率。本文结合实际情况,对

SKT4 模具钢的常规热处理工艺和优化后的热处理工艺进行对比研究,消除网状、链状碳化物,细化粗大的晶粒。

1 试验材料及方法

试验材料为 SKT4 模具钢,其主要化学成分与 GB/T 1299—2000《合金工具钢》中的国产牌号 5CrNiMo 钢比较接近。SKT4 钢采用 EAF + VD + 电渣重熔熔炼,电渣重熔后再经锻造,始锻温度控制在 1100 °C,终锻温度 850 °C,保证锻造比大于 4,将锻造后的 SKT4 钢送入热处理炉进行后续热处理。对试验 SKT4 钢进行化学成分分析及定氧氢氮,取 5 组试样并求其平均值,结果如表 1 和表 2 所示。由表 1、表 2 可知,试验 SKT4 钢的合金元素含量符合 GB/T 1299—2000 标准要求, P、S 元素含量较低, H、O、N 元素含量也较低。

2 试验结果与讨论

2.1 热处理工艺的制定

由于该模具钢属于亚共析钢,为了制定热处理工艺,首先要了解该模具钢的 Ac₁ 和 Ac₃ 线温度。利用 JmatPro3.0 软件,对该钢进行相的计算,计算结果如图 1 所示。从图 1 可以看出,在常温下,该模具钢平衡

收稿日期: 2013-10-20

作者简介: 刘绍友(1965—),男,高级工程师,主要从事钢铁成形及热处理研究,联系电话: 0710-2719806, E-mail: wxzz_jishuzx@163.com

doi: 10.13251/j.issn.0254-6051.2014.04.032

组织存在的相比较多,主要是铁素体、渗碳体、碳化物及 MnS 等;奥氏体化的起始温度大概在 720 °C 左右,

即 Ac_1 线温度;完全奥氏体化的温度为 800 °C 左右,即 Ac_3 线温度。

表 1 试验用 SKT4 钢的主要化学成分(质量分数,%)
Table 1 Chemical composition of the tested SKT4 steel (wt%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe
GB/T 1299—2000	0.50~0.60	≤0.40	0.50~0.80	≤0.030	≤0.030	0.50~0.80	0.15~0.30	1.40~1.80	余量
实测	0.53	0.28	0.70	0.015	0.010	0.78	0.27	1.61	余量

表 2 试验用 SKT4 钢中的气体含量
Table 2 Gas content in the tested SKT4 steel

元素	H/ 10^{-6}	O/%	N/%
含量	<0.5	0.0019	0.0069

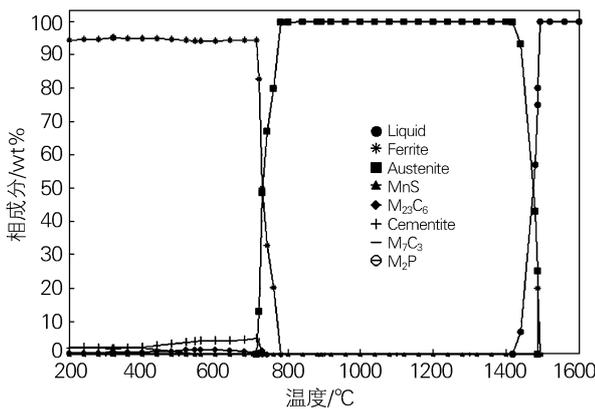


图 1 SKT4 钢的相分析
Fig. 1 Phase analysis of SKT4 steel

根据确定的 Ac_1 和 Ac_3 线温度制定了两种锻后热处理方案,其工艺曲线如图 2 所示。常规热处理工艺(图 2(a))为锻件锻后冷却到 500 °C 送入到热处理炉中,控制加热温度缓慢加热,使大型锻件全部热透,然后在 790 °C 下保温 8 h,再以小于 30 °C/h 的速度冷却到 650 °C 保温 30 h 进行扩氢退火,热处理总时间约为 60 h。优化后的热处理工艺(图 2(b))为锻件锻后冷却到 500 °C 送入到热处理炉中,控制加热温度缓慢加热,使大型锻件全部热透,然后在 860 °C 下保温 10 h,进行空冷正火冷却到 400 °C,再加热到 670 °C 保温 25 h 进行回火,热处理总时间小于 50 h。

2.2 结果与讨论

由于该钢常规的热处理工艺是普通退火+扩氢退火,普通退火很难消除粗大的铸态组织,网状及链状的碳化物溶解不完全。研究^[4]表明,在常规的热处理前增加一次正火处理,可降低钢中未溶解的碳化物数量,细化奥氏体晶粒,减轻碳化物分布的不均匀性,提高强度和韧性。且正火的温度比较高,温度越高,氢元素的

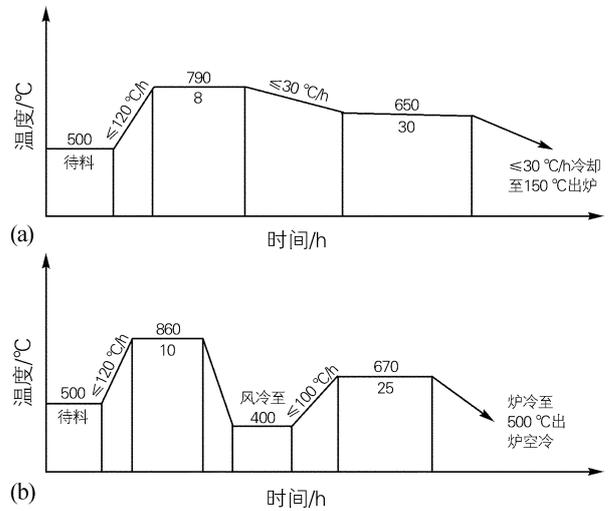


图 2 常规热处理工艺(a)及优化后的热处理工艺(b)
Fig. 2 Conventional heat treatment process (a) and the optimized heat treatment process (b)

扩散能力越强,可以大大减少后续的扩氢退火时间,从而提高效率。

图 3 为不同工艺热处理后 SKT4 模具钢的显微组织。从图 3(a)可以看出,常规热处理工艺处理后 SKT4 钢的组织为珠光体+块状铁素体,且组织比较粗大。而经优化工艺热处理后的 SKT4 钢的组织为珠光体+细小的铁素体,组织得到细化,如图 3(b)所示。对比两个工艺路线可知,优化后的热处理工艺和常规热处理工艺的主要区别在于加热温度、保温时间及冷却速率上。从热处理温度和时间上看,优化后的热处理工艺一方面是在高温段加热温度高,保温时间长;另一方面在低温段是加热温度高,但保温时间短。从冷却速率上看,优化后的工艺路线是正火处理,冷却速率大大快于常规退火的速率。对于热处理工艺中的高温段,在高温段维持较高的加热温度高和较长的保温时间,有利于改善大型模块在前期浇铸过程中合金元素的偏析,而冷却速率的提高有利于组织的细化。因此,就组织改善效果而言,优化后的工艺更适合于 SKT4 模具钢热处理。

热处理工艺中的低温段有消除应力和扩散去氢的

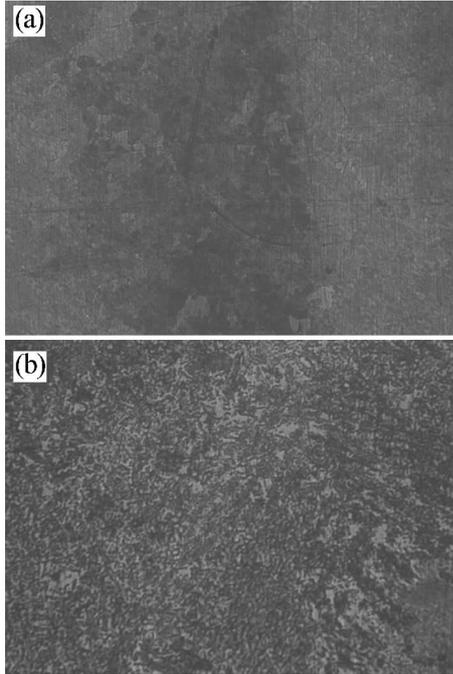


图 3 不同工艺热处理后 SKT4 模具钢的显微组织 ×500
(a) 常规热处理; (b) 优化后的热处理
Fig. 3 Microstructure of the SKT4 die steel after different processes heat treatment ×500
(a) conventional heat treatment; (b) optimized heat treatment

作用,由于优化热处理工艺中的此段热处理时间较短,有可能造成去氢不够充分,从而形成氢脆,而 SKT4 钢对氢脆极为敏感,因此有必要对经优化后工艺热处理后的 SKT4 模具钢进行断口分析。图 4 为 SKT4 模具钢试样的断口形貌,从图 4 可以看出,试样呈脆性断裂,

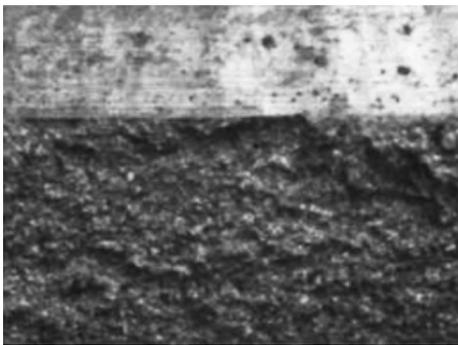


图 4 SKT4 模具钢试样的宏观断口形貌
Fig. 4 Macrofracture morphology of the specimen

断口呈结晶状,经扫描电镜观察,并未发现氢脆的存在。为了进一步验证氢脆的可能,对试样中的裂纹进行观察,其形貌及附近的显微组织如图 5 所示。从图 5 可以看出,裂纹是延晶和穿晶断裂,并未呈放射状,因此,该裂纹可能是由于锻后的冷却速率过快造成的,并不是氢脆。

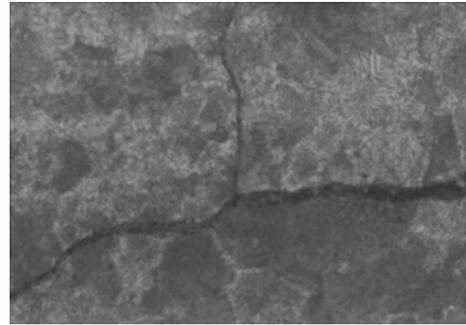


图 5 试样裂纹及其附近组织 ×500
Fig. 5 Crack and nearby microstructure ×500

3 结论

1) 采用常规工艺热处理后的 SKT4 模具钢的组织粗大,其组织为珠光体 + 块状铁素体,显微偏析严重,严重影响其性能。

2) 采用正火可以细化 SKT4 模具钢的组织和改善合金元素的偏析,其组织为珠光体 + 细小的铁素体,组织得到明显的细化。

3) 优化后的热处理工艺缩短了热处理时间,提高了热处理效率,达到了改善组织而又不出现氢脆的目的。

参考文献:

- [1] 王树奇,崔向红. 热锻模具的韧性要求[J]. 中国机械工程, 2004, 15(8): 746-749.
- [2] 王运炎,叶尚川. 机械工程材料[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 174-176.
- [3] 李月恩,赵军,王维. 热作模具表面失效与模具寿命关系研究[J]. 锻压技术, 2009, 34(2): 91-93.
- [4] 顾佳羽,李欢. 高温正火对 H13 钢锻后组织的影响[J]. 金属热处理, 2012, 37(6): 70-72.

· 知识窗 ·

残留奥氏体量多时测定碳化物级别的简易方法

残留奥氏体量较多(4级以上)时,由于背景亮,分布在其上的白色碳化物块形状模糊,难以区分残留奥氏体和碳化物而造成碳化物评级的困难。常规办法是将该试样在 230~250℃ 的温度下,重新回火 30~45 min,以减少或消除残留奥氏体,然后用硝酸酒精侵蚀,进行碳化物评级,该方法比较麻烦。

新方法: 将渗碳试样抛光后,先用 4% (质量分数) 的硝酸酒精溶液侵蚀,在放大 400 倍下观察,如果遇到残留奥氏体级别高(4级以上)时,可在评完残留奥氏体和心部铁素体级别后,将试样再用 10% 过硫酸铵水溶液侵蚀一遍,然后在显微镜下重新观察,此时,由于回火马氏体针及残留奥氏体均变为黑色,白亮的碳化物块就很容易在发暗的背景上非常清晰地显示出来,这样,就可以很方便地进行碳化物评级。