多次正火对12Cr2Ni4钢组织性能的影响

王全振[1]，姜明彤[2]，刘爽庆[1]，任福俊[1]，王昊[3]
1.沈鼓集团股份有限公司　辽宁沈阳　110869
2.大连职业技术学院　辽宁大连　116035
3.佳木斯电机股份有限公司　黑龙江佳木斯　154002

摘要：通过对12Cr2Ni4钢进行两种正火工艺试验，对比多次正火和常规正火效果，并采用金相法检测两种工艺对应的金相组织。结果显示：在正火温度、保温时间相同时，两次正火处理获得较细的珠光体组织，晶粒得到细化，钢的强度、硬度得到提高。

关键词：12Cr2Ni4钢；多次正火；晶粒细化

Effect of multiple normalizations on the microstructure of 12Cr2Ni4 steel

WANG Quanzhen[1], JIANG Mingtong[2], LIU Shuangqing[1], REN Fujun[1], WANG Hao[3]
1.Shengu Group Co., Ltd., Shenyang 110869, Liaoning, China
2. Dalian Vocational Technical College, Dalian 116035, Liaoning, China
3. Jiamusi Electric Machine Co., Ltd., Jiamusi 154002, Heilongjiang, China

Abstract: Through the multiple normalizing process test of 12Cr2Ni4 steel, the effect of multiple normalizing and ordinary normalizing effect were compared and analyzed, and the metallographic structure of the two processes was detected by metallographic method. When the normalizing temperature is heated and the holding time is exactly the same, the pearlite obtained after multiple normalizing is finer, the grain is refined, and the strength and hardness of the steel are higher.

Keywords: 12Cr2Ni4 steel; multiple normalizing; grain refinement

1　序言

众所周知，齿轮的服役工况非常苛刻，因此要求齿轮用钢应有高的硬度、耐磨性及疲劳强度。此外，齿轮还会受到强烈的冲击载荷，因此要求齿轮有较高的强韧性[1, 2]。齿轮用钢常选用12Cr2Ni4或18CrNiMo7-6低碳合金钢。然而，时常发现制造齿轮所需的锻件存在晶粒粗大的过热组织，即晶粒度比正常锻件的晶粒粗大。零部件组织粗大增加了变形和开裂倾向，明显降低了力学性能，尤其是冲击韧度。此外，零件在过热组织存在的前提下进行淬火处理，容易出现混晶，甚至显微裂纹，从而影响综合使用性能，生产中多采用退火的方法进行晶粒细化。为此，本文采用12Cr2Ni4钢，进行多次正火工艺试验研究，为该钢种组织性能调整提供试验依据。

2　试验材料、设备与方法

2.1　试验材料

试验用材料为12Cr2Ni4钢，执行GB/T3077—1999《合金结构钢》，该标准规定的化学成分范围及试验用材料的实际化学成分见表1。从表1可看

表1　试验用12Cr2Ni4钢化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	S	P
标准值	0.10～0.16	0.17～0.37	0.30～0.60	1.25～1.65	3.25～3.65	0.45～0.55	0.05～0.15	0.025	0.025
实际值	0.12	0.20	0.40	1.50	3.48	0.50	0.088	0.003	0.014

出，试验用材料的实际化学成分完全符合标准的要求。

2.2　试验设备、试验方法

（1）试验设备　45kW箱式电阻炉，有效加热区 1200mm×600mm×400mm，功率：45kW；使用Axiovert 200MAT型光学显微镜观察金相组织。

（2）试验方法　本试验采用了两种正火工艺方法进行比较，一种方法是常规的一次正火工艺，另一种方法是采用多次正火工艺即连续两次正火，两种工艺方法的保温时间相同，具体参数见表2。

表2　两种正火工艺方法具体参数

工艺方法	材质牌号	试件规格/mm	试件编号	工艺制度
常规一次正火	12Cr2Ni4	ϕ40×200	A1-1	950℃×1h，空冷
多次正火	12Cr2Ni4	ϕ40×200	B1-1	950℃×1h，空冷

注：多次正火采用到温装炉，快速加热的方法，可以细化晶粒，减少零件在炉内停留时间，防止晶粒长大。

3　试验结果与分析

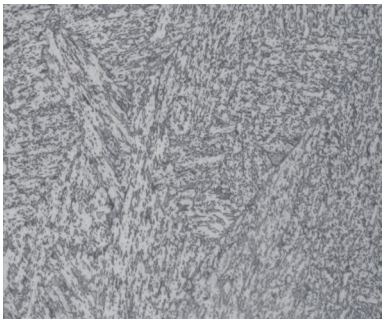
3.1　热处理显微组织

正火处理后，检验方法按GB/T 13298—2015《金属显微组织检验方法》进行，晶粒度评定按照GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度评级标准》进行，检验部位应具有代表性。金相组织采用金相法，在放大100倍、500倍的显微镜下检验，腐蚀试剂用4%硝酸乙醇。常规一次正火A1-1试件金相组织如图1所示，晶粒度等级为5级；多次正火B1-1试件金相组织如图2所示，晶粒度等级为6.5级。从金相组织可看出，通过连续两次正火处理，奥氏体在形成珠光体的切变过程中，由于弹性应变作用会产生大量的晶体缺陷（位错、孪晶和层错等），再次加热奥氏体化时，奥氏体将优先在这些缺陷位置处形核，并在晶粒边界上形成多个珠光体晶核，这些晶核最后又形成珠光体晶群，可以得到细片状珠光体组织，有助于形成弥散度较大的珠光体组织，从而有效细化晶粒[3]。

3.2　力学性能

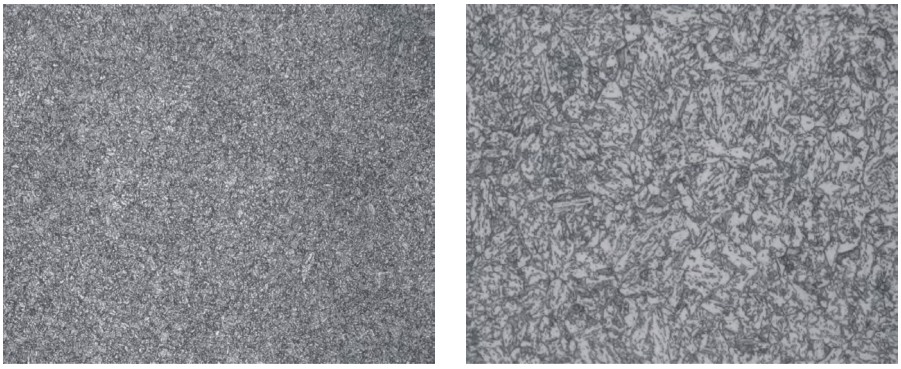
正火后进行力学性能测试，结果见表3。从表3可看出，经过多次正火细化晶粒后综合力学性能较好，满足材料高强度、高韧性的要求。晶粒细化因拥有更多的晶界，能够吸收更多的应变能，从而增强材料的韧性；尤其表现在冲击吸收能量较普通正火提高45.7%，从而为最终调质处理做组织准备。多次正火能够进一步提升钢的综合性能，特别是对于一些对性能要求较高、形状复杂的工件，二次正火可以更好地优化其性能。

a）100×



b）500×

图1　A1-1试件金相组织



a）100×　　b）500×

图2　B1-1试件金相组织

表3　力学性能测试结果

试件编号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率（%）	断面收缩率（%）	冲击吸收能量KU_2/J	硬度HBW
A1-1	676	520	18.5	68	92、96	204
B1-1	703	544	20.0	70	136、138	214

4　讨论与分析

正火过程是将钢加热到Ac_3以上某一温度，保温一段时间，然后空冷或风冷，使珠光体首先在铁素体和渗碳体相界面上形成奥氏体晶核，这是由于铁素体和渗碳体相界面上碳浓度分布不均匀，原子排列不规则，易于产生浓度和结构起伏区，为奥氏体形核创造了条件。正火属于过冷奥氏体发生扩散型变的工艺过程，究其本质是新相从晶格形式到晶粒界线全新布局的过程。形核数目决定了新相晶粒的数目及大小，原子扩散的最终位置确定着过程结束新相晶粒边界的具体形状和位置。采用到温装炉，为了缩短加热时间，提高加热速度，在快速加热时因为过热度大，所以也可以在铁素体亚晶边界上形核[4]。由于正火的冷却速度较快，过冷度会比较大，材料在共析时重新形核的速率也就较大，而且留给晶粒长大的时间很短，因此正火可以细化晶粒。从两种正火工艺试验的结果看，对于12Cr2Ni4渗碳钢，多次正火能够使过热组织的晶粒得到细化，从而得到细小均匀的奥氏体组织。多次正火涉及奥氏体反复形核、长大和碳化物溶解的过程。在加热过程中，钢的组织完全转变为奥氏体。冷却时，奥氏体晶粒中高熔点的物质成核形成新的晶粒，高熔点物质越多，相变驱动力越大，临界晶核尺寸就越小。通常情况下，相变时的驱动力比再结晶时的驱动力大很多，就可使钢的晶粒超细化。

5　结束语

对于12Cr2Ni4钢来说，在相同正火温度、相同保温时间下，两次正火细化了珠光体组织，晶粒也得到细化，钢的强度、硬度得到提高，冲击韧性也得到提升，显示出了良好的强韧性匹配。

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] 莫贵疆，汤虎，李富勇，等. 齿轮毛坯等温正火冷却均匀的控制[J]. 金属加工（热加工），2011（17）：21-22.

[3] 陈丽娟，张忠和，高志强，等. 18CrNiMo7-6渗碳钢不同预备热处理的组织与性能[J]. 热处理技术与装备，2018，39（2）：37-40.

[4] 杨维庆，杨仲书，张宏福，等. 正火冷却速度对20CrNiMo钢组织和性能的影响[J]. 金属加工（热加工），2024（4）：1-4.

MW 20241030