

控轧控冷获得低成本高性能铆螺钢的研究

刘明军^{1*}, 李壮^{1*}, 权纯逸², 任沛霖¹

1. 沈阳航空航天大学材料科学与工程学院 辽宁沈阳 110136

2. 沈阳飞机工业(集团)有限公司 辽宁沈阳 110000

摘要: 通过控轧控冷可以获得低成本、高性能铆螺钢。对铆螺钢采用轧制后快速冷却, 力学性能提高。水冷温度越低, 铁素体晶粒越细, 550℃水冷的铁素体晶粒获得了21nm的最低值。控制冷却形成伪共析组织。水冷温度越低, 珠光体含量越多, 珠光体层片间距也越小, 550℃水冷达到了抗拉强度530MPa, 伸长率28%, 强塑积达14840MPa%的最高值。

关键词: 控轧控冷; 铆螺钢; 伪共析组织; 力学性能

1 序言

铆螺钢产品在工业生产中一直被广泛应用^[1]。高等级的铆螺钢在制造各种所需零件时必须采用不同的热处理工艺^[2], 而控制轧制实质就是一种形变热处理, 形变强化可以细化晶粒。采用控轧控冷可以改善钢的组织^[3], 减少甚至完全代替热处理, 获得低成本、高性能的铆螺钢。笔者对铆螺钢进行了控轧后的控制冷却研究, 控轧控冷工艺如图1所示, 获得了较为满意的力学性能。

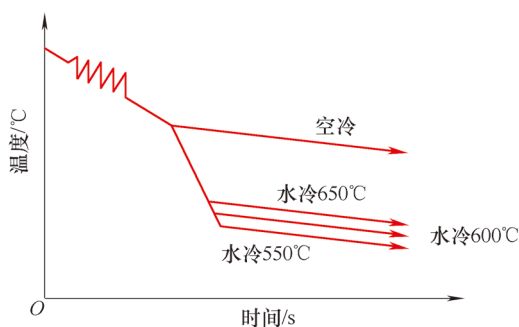


图1 控轧控冷工艺示意

2 试验材料与方法

试验的铆螺钢化学成分为: $w_C=0.186\%$ 、 $w_{Si}=0.171\%$ 、 $w_{Mn}=0.437\%$, 以及微量的杂质元素。

80mm×80mm×30mm的坯料在1150℃加热1h后, 使用 $\phi 450$ mm轧机轧制。经二道次轧制, 850℃终轧后分别采用空冷或水冷至650℃、600℃、550℃后再空冷至室温, 获得4mm×100mm×480mm的成品, 分别制作1[#]、2[#]、3[#]、4[#]试样。然后对其分别进行拉伸试验、组织分析以及珠光体的体积分数和铁素体晶粒尺寸的测定。

3 试验结果与讨论

3.1 显微组织

控轧控冷后的金相组织如图2所示。由图2可看出, 空冷后的组织为多边形铁素体和珠光体, 其中铁素体晶粒较为粗大(见图2a), 而水冷至650℃、600℃、550℃的组织, 不仅铁素体晶粒细化, 而且珠光体增多, 且随冷却温度降低, 珠光体层片间距减小。1[#]、2[#]、3[#]、4[#]试样珠光体的体积分数分别为26%、41%、64%、65%, 铁素体晶粒尺寸分别为51nm、27nm、26nm、21nm(见图2b~d)。

3.2 力学性能

对于铆螺钢成品料, 每块取3个试样进行拉伸试验, 用抗拉强度与伸长率的乘积(强塑积)表征其综合性能。4种工艺下的平均力学性能结果见表

基金项目: 国家“863”计划项目(2015AA03A501); 沈阳航空航天大学大学生创新创业训练计划项目(X202010143100)。

通信作者: 刘明军, 主要研究方向: 金属材料的组织与性能。

李壮, 教授, 主要研究方向: 金属材料的组织与性能。

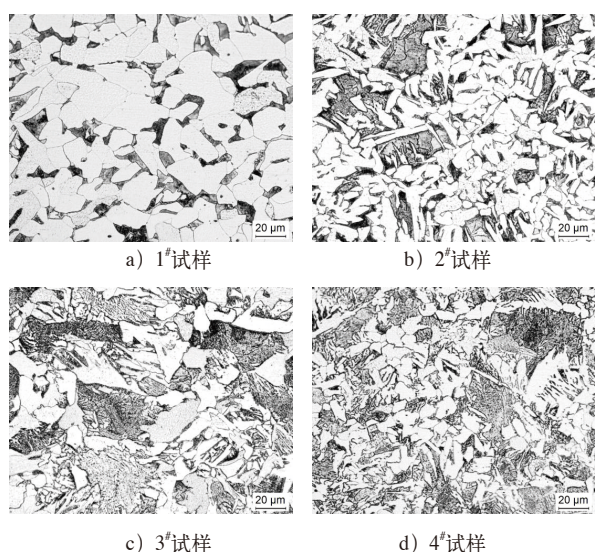


图2 柳螺钢控轧控冷后的金相组织

1. 空冷1[#]试样的抗拉强度、屈服强度最低，抗拉强度仅为445MPa；随水冷温度降低，抗拉强度、屈服强度提高。水冷到550℃时，4[#]试样的抗拉强度达530MPa，伸长率也逐渐提高，达28%。水冷导致抗拉强度提高了将近100MPa。

表1 柳螺钢控轧控冷后的力学性能

试样编号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	强塑积 /MPa%
1	445	288	25	11125
2	500	347	27	13500
3	515	354	28	14420
4	530	368	28	14840

3.3 结果分析与讨论

当试样终轧后空冷时，冷却过程中的奥氏体-铁素体相变有充分的时间，铁素体能够形核和长大，因此1[#]试样的铁素体晶粒相对粗大（51nm）；水冷时，由于扩散相变时间减少，铁素体的相变受到了抑制，水冷温度越低，铁素体的相变时间相对越短，因此，4[#]试样的铁素体晶粒相对细化（21nm）^[4]。形变强化细化了晶粒。根据霍尔-佩奇关系式^[5]，晶粒尺寸的减少一般导致极限抗拉强度和屈服强度的增加，晶粒越细，强度越高，即

$$\sigma_y = K + K_y d^{-1/2} \quad (1)$$

式中 σ_y ——下屈服应力（MPa）；

K ——材料常数；

K_y ——强化系数；

d ——铁素体晶粒尺寸（nm）。

晶粒越细，单位体积内晶粒的数目越多，参与变形的晶粒数目越多，变形也越均匀，同时晶粒越细小，引起应力集中程度越低，引起裂纹形成倾向也越小，并可推迟裂纹的形成和扩展，且一旦形成裂纹，一般裂纹扩展在晶界要改变方向。晶粒细小不利于裂纹扩展，金属能够发生很大的塑性变形而不断裂，因而使塑性、韧性提高。

轧制以后控冷造成了珠光体含量增多，出现了伪共析组织，如图3所示。

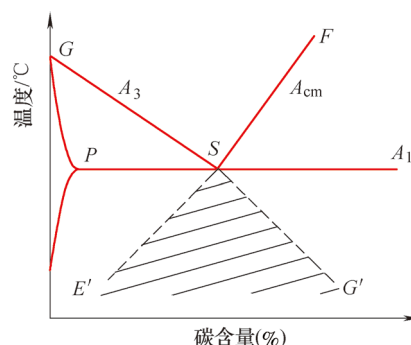


图3 伪共析组织出现示意

由图3可看出，奥氏体快冷到影线区时，发生了珠光体转变。转变产物的珠光体是由非共析成分的奥氏体获得的，虽然也由片状铁素体和渗碳体组成，但它们的相对含量、片层相对厚度不同于共析成分的珠光体，又称为伪共析体^[6]。水冷温度越低，这种偏离共析成分的伪珠光体体积分数越多，4[#]试样的伪珠光体体积分数最高（65%）。而水冷温度越低，伪珠光体的层片间距越小，这都导致了柳螺钢的强度、伸长率增高，因此4[#]试样的强塑积最高，达14840MPa%。控轧控冷能够实现以低碳钢代替中碳钢，柳螺钢获得了低成本和高性能。

4 结束语

1) 柳螺钢采用控轧控冷，通过形变强化而细化了晶粒，获得了低成本、高性能的产品。

2) 水冷温度越低，铁素体晶粒越细，550℃水冷的铁素体晶粒获得了21nm的最低值。

3) 控制冷却形成伪共析组织，水冷温度越低，伪珠光体含量越多，伪珠光体层片间距越小，550℃水冷达到了抗拉强度530MPa、伸长率28%，强塑积达14840MPa%的最高值。

参考文献：

[1] SIMONOV M Y, PERTSEV A S, Shaimanov G
(下转第80页)

来提高使用寿命, 根据工艺成本来选择适合的优化方案。

飞轮材质HT250增加了Mo, 合金Mo可以形成致密的合金氧化膜^[3], 提高相变温度, 同时Mo可以强化铁素体, 使基体有较好的高温强度, 能承受较大的应力。钼合金可以更好地抗氧化、龟裂、热裂。对此飞轮做了分析, HT250 (Mo) 飞轮也存在龟裂, 但裂纹要轻微, 如图9所示。



图9 HT250 (Mo) 飞轮磨损效果

表7 售后飞轮故障鉴定方案

序号	故障描述	故障鉴定	责任界定	备注
1	表面沟壑	离合器片磨损, 螺栓与飞轮摩擦导致沟壑	用户承担维修费用	
2	轻微磨损	行驶里程 ≥ 1 万km, 摩擦面磨损深度 ≤ 1 mm, 表面无严重裂纹、沟壑	正常磨损, 如更换, 费用由用户承担	服务站 正确引导
3	轻微裂纹	行驶里程 ≥ 1 万km, 摩擦面存在轻微裂纹, 裂纹宽度 ≤ 0.5 mm	正常磨损, 如更换, 费用由用户承担	
4	严重裂纹、严重磨损	行驶里程 < 1 万km且磨损深度 > 1 mm或表面严重裂纹, 裂纹宽度 > 0.5 mm	三包期内, 飞轮供应商责任	
5	飞轮振动大、异响	飞轮无明显磨损、损伤	排查轴承、离合器等原因, 不能界定为飞轮原因	

参考文献:

[1] 全国内燃机标准化技术委员会. 往复式内燃机 飞轮技术条件: GB/T 24748—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[2] 潍柴动力股份有限公司. 灰铸铁件通用技术条件: QWCG 050—2009[S]. 2009.

[3] 全国铸造标准化技术委员会. 灰铸铁金相检验: GB/T 7216—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

MW 20210517

(上接第75页)

S, et al. Cold resistance of structural steel subjected to cold radial forging [J]. Metal Science and Heat Treatment, 2020, 61 (9-10) : 601-609.

[2] 李维钺. 有关《冷锻和冷挤压用钢》标准[J]. 金属热处理, 2002, 27 (10) : 49-51.

[3] 牛延龙, 刘清友, 贾书君. 控冷工艺下组织及M/A岛对管线钢韧性的影响[J]. 钢铁, 2020, 55 (6) : 91-100.

[4] TOMIDA T, IMAI N, MIYATA K, et al. Grain refinement of C-Mn steel to 1 μ m by rapid cooling

and short interval multi-pass hot rolling in stable austenite region [J]. ISIJ International, 2008, 48 (8) : 1148-1157.

[5] KOH H J, LEE S K, PARK S H. Effect of hot rolling conditions on the microstructure and mechanical properties of Fe-C-Mn-Si multiphase steels[J]. Scripta Mater., 1998, 38 (5) : 763-768.

[6] 胡光立, 谢希文. 钢的热处理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2012: 59.

MW 20210315