30CrMnSiA钢吊钩等温淬火工艺的研究

占新华

航宇救生装备有限公司　湖北襄阳　441000

摘要：针对30CrMnSiA钢吊钩等温淬火后力学性能不达标的问题，通过工艺试验，分析等温温度对材料金相组织和力学性能的影响。结果表明：30CrMnSiA钢吊钩等温淬火最佳温度为340～360℃，等温淬火可获得贝氏体＋马氏体的复相组织，随着等温温度上升，上贝氏体含量逐渐增加，硬度与强度值下降，同时保持良好的伸长率和断面收缩率。

关键词：30CrMnSiA钢；等温淬火；强度

Research on isothermal quenching process of 30CrMnSiA steel hooks

ZHAN Xinhua

Aerospace Life-Support Industries, Ltd., Xiangyang 441000, Hubei, China

Abstract: Aiming at the problem that the mechanical properties of 30CrMnSiA steel hooks after isothermal quenching are not up to the standards, the influence of isothermal temperature on the metallographic structure and mechanical properties of the material was analyzed by process tests. The results show that the optimum isothermal quenching temperature of 30CrMnSiA steel hooks is 340～360℃. After isothermal quenching, the complex phase structure of bainite and martensite can be obtained. With the increase of isothermal temperature, the content of upper bainite increases gradually, and the hardness and strength values decrease, Simultaneously maintaining good elongation and cross-sectional shrinkage.

Keywords: 30CrMnSiA steel; isothermal quenching; strength

1　序言

30CrMnSiA属中碳调质钢，具有较好的力学性能和加工性能，在淬火与高温回火状态下具有较高的强度和足够的韧性，是飞机制造业中使用最广泛的一种调质钢[1]。为了使强度与塑性得到更好的配合，让零件具有良好的综合力学性能，航空产品小批量生产时，通常采用等温淬火工艺方法。等温淬火是指工件淬火加热后，长期保持在贝氏体转变区温度下，以获得贝氏体组织[2]，其具有生产节奏快、质量稳定的特点。

吊钩为某产品上的关键重要件，材质为30CrMnSiA钢，外形条件厚度约10mm，其热处理质量直接影响到产品的可靠性。为解决零件力学性能不达标和热处理工艺参数未固化的问题，从而提高产品质量稳定性。本文以30CrMnSiA钢吊钩为研究对象，进行等温淬火工艺试验和力学性能、金相组织检测，为固化等温淬火工艺参数提供理论依据。吊钩外形轮廓与工艺曲线如图1、图2所示。

图1　零件轮廓

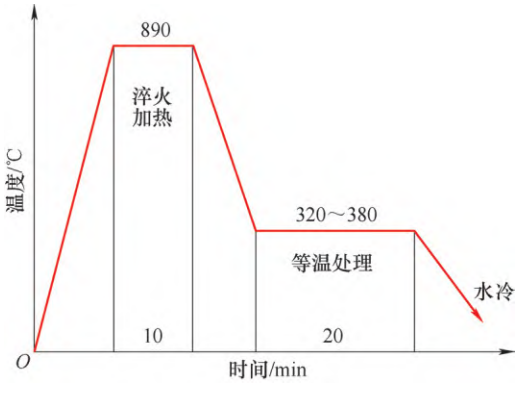


图2　等温淬火工艺曲线

2　试验条件和方法

2.1　试验材料

（1）选材　试验材料为30CrMnSiA钢，其主要化学成分见表1。

表1　30CrMnSiA钢化学成分（质量分数）（%）

C	Cr	Mn	Si	P	S
0.27～0.34	0.80～1.10	0.80～1.10	0.90～1.20	≤0.04	≤0.04

从表1可看出，30CrMnSiA钢C含量中等。C含量可保证具有一定的硬度，Cr和Mn可提高淬透性，Si是铁素体形成元素，有固溶强化效果。

（2）试样　按GB/T 228.1—2021《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》规定进行试样制备。机械加工ϕ5mm和ϕ10mm标准比例的拉伸试样，加工ϕ5mm×10mm和ϕ10mm×10mm硬度试样，ϕ10mm试样代表零件吊钩，ϕ5mm试样用于对比试验。两种规格拉伸试样和硬度试样组合为A、B、C、D、E共5组，每组含两种规格试棒各3件、硬度试样各3件，用有机溶剂清洗试样，对试样表面进行处理后打上相应编号。

2.2　试验方法

（1）热处理过程　采用中温盐浴炉进行淬火加热，盐浴成分为50%KCl＋50%NaCl。采用碱槽进行320～380℃等温处理，碱槽成分为65%KOH＋35%NaOH，槽内通入压缩空气进行搅拌，碱槽温度均匀性±5℃。

（2）金相组织观察　制备ϕ10mm硬度块的金相试样，经4%硝酸酒精溶液腐蚀，采用蔡司D1M型显微镜观察30CrMnSiA钢经过不同工艺方法处理后的金相组织。

（3）硬度、力学性能测试　采用华银HR-150DT洛式硬度计检测试样硬度值，硬度最终值取3个试样的平均值，采用日本岛津UH-F500KNX型试验机进行拉伸试验，强度最终值取3个试样的平均值。

2.3　技术要求

吊钩等温淬火后的力学性能要求：硬度40～45HRC、抗拉强度R_m≥1274MPa、屈服强度R_{eL}≥1078MPa、断面收缩率Z≥45%、伸长率A≥10%。

2.4　工艺参数

为了分析等温淬火温度对30CrMnSiA钢吊钩金相组织与力学性能的影响，同时与常规热处理后的组织性能进行对比，将A组试样进行淬火＋回火，B～E组试样进行等温淬火。对比试验的工艺参数见表2。

表2　对比试验的工艺参数

组号	工艺方法	工艺参数
A	常规淬火＋回火	890℃×10min油淬＋510℃×60min回火
B	等温淬火	890℃×10min＋320℃×20min等温
C	等温淬火	890℃×10min＋340℃×20min等温
D	等温淬火	890℃×10min＋360℃×20min等温
E	等温淬火	890℃×10min＋380℃×20min等温

3　试验结果与分析

3.1　力学性能

试样力学性能试验结果见表3。

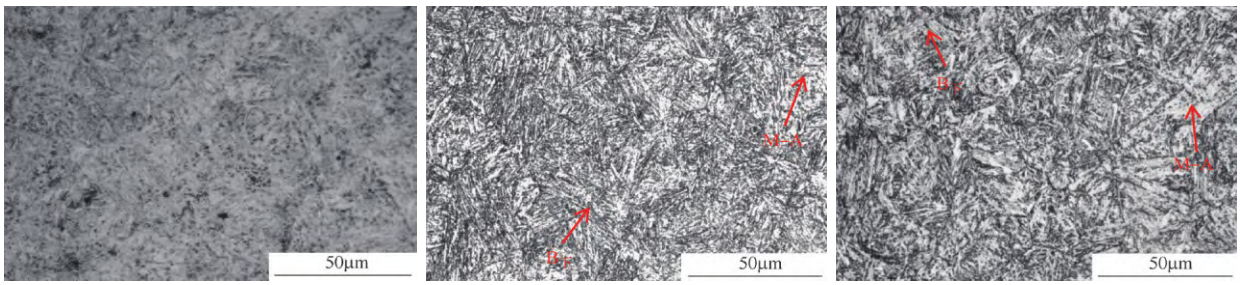
表3　力学试验结果

组号	规格/mm	硬度HRC	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	断面收缩率(%)
A组	ϕ5	36.5	1070	1176	14.5	48.0
	ϕ10	37.0	1062	1170	14.0	48.5
B组	ϕ5	47.5	1192	1493	13.0	53.2
	ϕ10	46.5	1180	1475	13.4	53.1
C组	ϕ5	44.0	1164	1460	14.0	54.1
	ϕ10	43.0	1112	1394	14.2	53.6
D组	ϕ5	43.5	1138	1367	13.5	55.2
	ϕ10	43.0	1101	1353	13.5	56.0
E组	ϕ5	41.5	1055	1312	15.5	52.0
	ϕ10	40.5	1026	1277	15.0	52.5

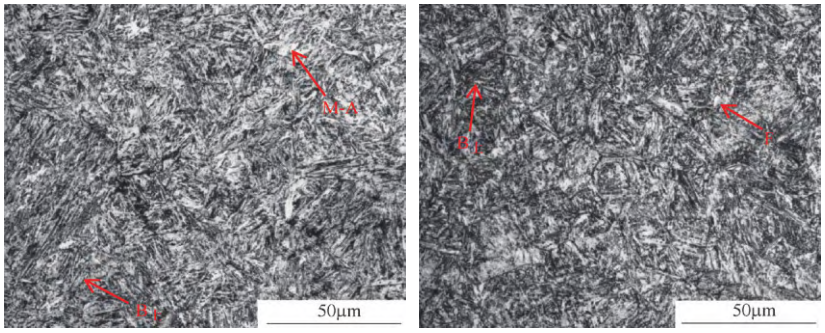
从表3可看出，340～360℃等温淬火后，所获得的硬度与强度值均满足吊钩的力学性能要求。等温淬火与普通油淬相比，抗拉强度与屈服强度得到大幅度提高，伸长率无明显差异，断面收缩率得到一定程度提升。随着等温温度升高，硬度和强度值出现下降，等温淬火温度与力学性能指标呈非线性关系。ϕ5mm和ϕ10mm试样经相同等温淬火温度处理后，ϕ5mm试样的抗拉强度和屈服强度值略高于ϕ10mm试样，其原因在于相同等温淬火条件下，小规格试样的贝氏体组织转变更为充分，根据HB/Z 136—2000《航空结构钢热处理工艺》得出，等温淬火后抗拉强度更高；不同等温淬火温度下，抗拉强度和屈服强度随等温淬火温度上升而下降，是由于等温淬火温度上升时，下贝氏体量减少，上贝氏体量增加，但上贝氏体较下贝氏体强度低[3]。

3.2　金相组织

30CrMnSiA钢加热奥氏体化后，经过油淬和高温回火形成回火索氏体组织，奥氏体化后冷至贝氏体转变区进行等温停留，形成贝氏体组织，如图3a所示。等温淬火获得贝氏体＋马氏体复相组织。其中，贝氏体是由片状铁素体和碳化物组成的板条状下贝氏体复相组织（见图3b、c）；以及由成束、平行的板条状铁素体和呈粒状或条状的渗碳体所组成的羽毛状上贝氏体组织（图3d、e)。总的来看，当等温淬火温度在320～340℃转变区范围内时，下贝氏体比上贝氏体多，下贝氏体转变得更充分，使更多的C元素转移到残留奥氏体中，材料的稳定性提高。当等温淬火温度从320℃递增至380℃时，贝氏体形态由板条状下贝氏体向羽毛状上贝氏体进行变化，下贝氏体的量减少，上贝氏体的量增加；当等



a）常规淬火＋回火　　b）320℃等温淬火　　c）340℃等温淬火



d）360℃等温淬火　　e）380℃等温淬火

图3　常规淬火与等温淬火后的金相组织

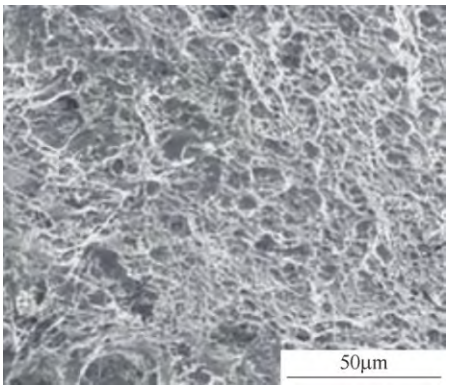
温淬火温度达到380℃，上贝氏体变得粗大。等温淬火形成贝氏体＋马氏体复相组织，相比单一的回火索氏体或马氏体组织，能使材料获得更好的综合力学性能[4]。

3.3 断口形貌

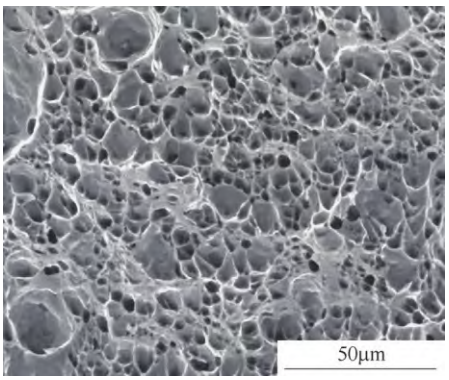
对经常规热处理和等温淬火的ϕ10mm拉伸试样断口进行宏观形貌与微观形貌观察，其断口形貌如图4所示。从图4a、b可看出，断口由纤维区、放射区及剪切唇组成，断口中心的纤维区由许多的纤维头组成，裂纹从断口中心扩展形成放射区。常规淬火断口的纤维区与剪切唇相对较小，等温淬火的断口呈暗灰色杯椎状，其剪切唇较大且表面光滑，与拉伸轴呈45°夹角。从图4c、d可看出，等轴韧窝在断口表面上均匀分布，340℃等温淬火等轴韧窝的尺寸与深度比常规热处理大，韧窝尺寸大且深。总的来看，等温淬火断口较常规热处理表现出更好的塑性断裂特征。

a）常规淬火＋回火宏观断口

b）340℃等温淬火宏观断口



c）常规淬火＋回火微观断口



d）340℃等温淬火微观断口

图4　常规淬火与等温处理的断口形貌

4　结束语

1）30CrMnSiA钢进行等温淬火处理，可获得贝氏体和马氏体的复相组织，使其强度与塑性得到更好地匹配，340～360℃等温淬火后获得的硬度与强度可满足吊钩的综合力学性能要求。

2）随着等温淬火温度的上升，所形成的上贝氏体逐渐增加，由于下贝氏体较上贝氏体具有更好的综合力学性能，因此导致材料的硬度与强度值出现下降。

参考文献：

[1] 张跃飞，陈林，刘艳稳. 新研通用挂架前接头螺栓断裂分析[J]. 失效分析与预防，2010（4）：248-251.

[2] 李召华，王春净，罗湘燕. 30CrMnSiA钢的最终热处理工艺研究[J]. 新技术新工艺，2017（10）：1-3.

[3] 胡光立，谢希文. 钢的热处理[M]. 西安：西北工业大学出版社，2016.

[4] 张炜，高东宏，潘艳春，等. 等温淬火工艺对50CrMnVA钢组织和性能的影响[J]. 汽车工艺与材料，2019（3）：39-42.

（收稿日期：20241219）