20CrMnTi钢起竖液压缸座锻坯淬火工艺研究

吴玉逢，颜斌，崔亚男

泰安航天特种车有限公司　山东泰安　271000

摘要：在各种淬火冷却介质中对20CrMnTi锻坯进行淬火试验，从小试样开始，逐步分析该材料在各种淬火冷却介质中的淬火工艺性，最后用起竖液压缸座半成品在PAG淬火液中进行了淬火试验。结果表明：20CrMnTi钢起竖液压缸座锻坯采用浓度4%~5%的PAG淬火液进行淬火，硬度、力学性能达到了设计要求。

关键词：20CrMnTi钢；PAG淬火液；淬火；硬度；力学性能

1　序言

20CrMnTi钢作为我公司常用的一种渗碳钢，主要用于齿轮、十字轴、止推垫片等有耐磨要求的零件。因某型号特种汽车的起竖液压缸座在加载试验时焊缝多次发生开裂，为改善该零件的焊接性能，设计提出将材质由40Cr钢更换为20CrMnTi钢。锻打毛坯，热处理硬度301~340HBW，σ_b≥785MPa，σ_s≥675MPa。该材料不渗碳而直接淬火、回火后使用，在公司尚属首例，没有成熟工艺，需验证其工艺可行性。起竖液压缸座结构如图1所示。

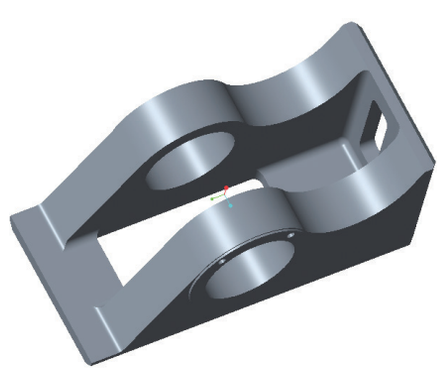


图1　起竖液压缸座三维示意

作为重型越野特种汽车发射系统的关键受力零件，力学性能保证尤为重要。由于该零件形状较复杂，重量、尺寸较大，外形尺寸为440mm×230mm×200mm，改为20CrMnTi钢后热处理工艺性不理想。该材料的淬透性中等，淬硬性不高，需采取措施提高其淬透尺寸、淬火硬度，最主要的手段就是提高冷却速度。但鉴于其结构尺寸，若冷却速度太快，则容易发生淬火开裂，因此需试验摸索并确定合理的工艺方案，既能保证零件力学性能，又能避免发生开裂。

2　工艺方案及实施

利用电火花光谱仪PMI-MASTER 检测锻坯原材料化学成分，见表1。

由表1可以看出，原材料化学成分符合GB/T 3077—2015《合金结构钢》的要求，但C、Mn、Cr、Ti主要元素的含量均在下限。

由于该零件锻坯重量近200kg，锻坯及机械加工价格高、周期长，因此车辆交付周期紧张。为保证最终半成品件热处理质量，先从小试样开始试验，分别在快速淬火油、PAG淬火液、盐水中进行淬火，投制试样如下。

1）尺寸25mm×25mm×200mm的锻造试样两件，编号分别为：1-1、1-2。

表1　20CrMnTi钢化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ti
标准值	0.17~0.23	0.17~0.37	0.8~1.1	≤0.035	≤0.035	1.0~1.3	0.04~0.1
实测值	0.174	0.25	0.84	0.025	0.013	1.017	0.042

2）尺寸25mm×230mm×440mm的锻造试样两件，编号分别为：2-1、2-2。

3）尺寸66mm×230mm×440mm的锻造试样两件，编号分别为：3-1、3-2。

4）粗加工锻坯两件，外形尺寸为200mm×230mm×440mm，编号分别为：4-1、4-2。

5）半成品零件两件，外形尺寸为200mm×230mm×440mm，编号分别为：5-1、5-2。

其中，粗加工锻坯：加工出槽及零件的外形，单边加工余量5~8mm。

半成品零件：在粗加工锻坯的基础上进行半精加工，单边加工余量3mm，支耳孔、底孔、后壁孔均不加工。底部厚度最薄为25mm，后壁厚度为30mm，两边支耳壁厚为66mm，重量达80kg，如图2所示。

针对上述试样制定了工艺方案，见表2。

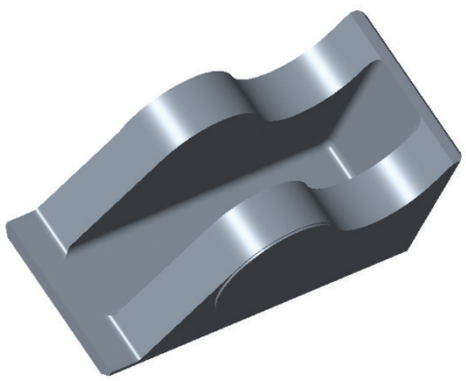


图2　半成品试样示意

表2　工艺试验实施方案

工艺方案	试样编号	工艺参数	淬火冷却介质	检测项目
方案一	1-1	正火900℃/30min，淬火880℃/30min，回火200℃/60min	PR-L19H快速淬火油	淬火硬度
方案二	1-1、1-2	正火900℃/30min，淬火880℃/30min，回火200℃/60min	10%~12%PAG淬火液	淬火硬度、回火硬度、力学性能
方案三	2-1、2-2	正火900℃/60min，淬火880℃/60min，回火200℃/90min	10%~12%PAG淬火液	
方案四	3-1、3-2	正火900℃/90min，淬火880℃/90min，回火500℃/120min	4.5%~5%NaCl水溶液	淬火硬度、回火硬度、力学性能、超声波检测
方案五	4-1、4-2	正火900℃/120min，淬火880℃/150min，回火400℃/180min	4.5%~5%NaCl水溶液	
方案六	5-1、5-2	正火900℃/120min，淬火880℃/150min，回火200℃/180min	4%~5%PAG淬火液	

工艺试验所使用的热处理设备有RX3-60-9普通箱式电阻炉、RJ2-90-6井式回火炉；硬度检测设备为TH140里氏硬度计、HR-150A洛氏硬度计；无损检测设备为SF750全数字超声波探伤仪；室温拉伸试验设备为WAW-600C微机控制电液伺服万能试验机。

3　试验结果及分析

3.1　1-1号试样

经检测，1-1号试样淬火后的硬度为25~30HRC，由于淬火硬度太低，没有必要再进行回火处理，方案一被排除。

3.2　1-1、1-2号试样

将1-1号试样重新正火，与1-2号试样一同按方案二进行试验。将试样加工成ϕ15mm的标准试棒后进行拉伸试验，力学性能见表3。

该试验结果说明，小尺寸的20CrMnTi钢锻件用10%~12%PAG淬火液作为淬火冷却介质，最终力学性能可以满足技术要求，同时其各项指标均达到了GB/T 3077—2015的要求。

表3　方案二试样力学性能

试样编号	淬火硬度HRC	回火硬度HRC	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率（%）	断面收缩率（%）
1-1	42、41、43	41、40、42	1095	876	13	47
1-2	43、45、42	40、41、43	1120	896	12	46
GB/T 3077—2015	—	—	1080	850	10	45

3.3 2-1、2-2号试样

将尺寸较大些的2-1、2-2号试样按方案三进行试验，经检测，试样的硬度见表4。

表4 方案三试样的淬火、回火硬度

试样编号	淬火硬度HBW	回火硬度HBW
2-1	237、228、251	229、236、210
2-2	259、253、301	302、268、304

从方案三试验结果可以看出，试样的淬火硬度较低，回火后硬度也不满足技术要求，说明10%~12%PAG淬火液冷却能力不足，方案二、方案三被排除。

3.4 3-1、3-2号试样

按方案四进行试验，经检测，试样的硬度及无损检测结果见表5。

表5 方案四试样的淬火、回火硬度及开裂情况

试样编号	淬火硬度HBW	回火硬度HBW	无损检测情况
3-1	424、469、472	311、323、306	无裂纹
3-2	446、461、433	329、323、318	无裂纹

从表5可以看出，淬火硬度理想，回火硬度符合要求，超声波检测无裂纹。表明4.5%~5%NaCl水溶液满足20CrMnTi钢在该尺寸下的淬火冷却能力，淬裂倾向小。

3.5 4-1、4-2号试样

按方案五进行试验，试样在热处理前经超声波检测，无裂纹。热处理后，试样的硬度及无损检测结果见表6。

表6 方案五试样的淬火、回火硬度及开裂情况

试样编号	检测位置	淬火硬度HBW	回火硬度HBW	无损检测情况
4-1	支耳外侧	366、358、367	337、327、324	有裂纹
	后壁外侧	404、397、393	349、345、347	
4-2	支耳外侧	355、363、359	337、327、324	无裂纹
	后壁外侧	393、385、403	349、345、347	

从表6可以看出，淬火硬度比较理想，回火硬度满足要求，但其中一件在支耳内部经无损检测发现裂纹。分析认为，出现裂纹的原因是壁厚较厚，表面冷却速度快，内部冷却速度慢，在热应力的主导作用下导致内部出现开裂。

为避免出现开裂的可能，排除方案四、方案五。

3.6 5-1、5-2号试样

按方案六进行试验，试样在热处理前经超声波检测，无裂纹。

利用DK77电火花数控线切割机床在5-1、5-2号试样支耳处各取一件试样，并加工成ϕ15mm标准拉伸试棒进行拉伸试验，力学性能见表7。

表7 试样的力学性能

试样编号	淬火硬度HBW	回火硬度HBW	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率（%）	收缩率（%）	无损检测情况
5-1	297、309、303	307、300、311	893	714	14	51	无裂纹
5-2	305、310、313	303、302、317	925	740	13	49	无裂纹
设计要求	—	301~340	≥785	≥675	≥10	≥45	无裂纹

从方案六试验结果可以看出，4%~5%PAG淬火液基本满足该材料在所设定尺寸的淬火冷却能力，淬火硬度稍低，但最终回火硬度、力学性能均能满足技术要求，且不易出现淬裂。

综上试验结果，确定起竖液压缸座的最终加工方案如下。

1）机械加工方案：锻后半精加工，两个支耳孔、底面孔、后壁孔不加工，各面的单边余量为3mm，各棱边倒钝或倒圆，内档各夹角圆弧过渡，圆角半径≥5mm。

2）热处理方案：锻后进行正火处理，无损检测后进行淬火，淬火温度880℃，保温2.5h，淬火冷

自锁螺母振动失效原因分析及预防

徐家强[1,2]，付建建[1,2]，李旭健[1,2]，许永春[2]，王立俊[1,2]，李新淼[1,2]，屈明亮[1]

1.河南航天精工制造有限公司研究所　河南信阳　464000
2.河南省紧固连接技术重点实验室　河南信阳　464000

摘要：结合生产实际，对材料为GH2132高温合金十二角自锁螺母振动裂纹失效件从宏观裂纹及断口、微观组织、能谱成分，并结合自锁螺母的加工工艺，对自锁螺母裂纹的形成原因进行了综合分析。结果表明，高温合金自锁螺母的微裂纹在数控车削之后的收口工序造成，而后经过振动试验产生疲劳裂纹。改变自锁螺母收口方式，同时适当增加直口外圆直径能够有效预防此类问题发生。

关键词：十二角自锁螺母；振动裂纹；收口；能谱成分

1　序言

在航空发动机的设计、制造、使用及维护过程中，螺纹联接的安全和防松问题日益突出，自锁螺母特别是高温自锁螺母因其可靠的抗振防松、可重复使用功能成为航空业应用最为广泛的螺纹联接件[1]。自锁螺母利用非圆形收口在螺母拧紧以后，收口处胀开，利用收口的回弹力使得旋合螺纹相互压紧，产生锁紧力矩，起到联接防松的作用。高温合金尤其是GH2132以其良好的高温强度和抗氧化、抗腐蚀性能，优异的抗疲劳和抗蠕变性能，以及极佳的断裂性能和组织稳定性，成为现代国防建设和国民经济发展中不可替代的关键材料[2]。

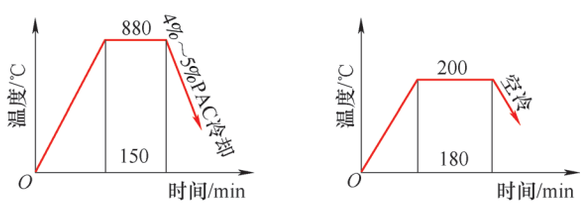
以往关于自锁螺母研究大多集中在材料相关性能的探究，对其制造件失效的研究甚少，尤其对自锁螺母失效案例报道极少[3,4]。本研究以某自锁螺母在振动试验中收口处开裂为研究对象，采用体视检查、断口微观分析、能谱分析、金相组织分析及显微硬度检测等方法，确定了自锁螺母裂纹产生的原因，并提出了相应的预防措施。

2　试验过程及结果

2.1　外观检查及微观分析

（1）外观检查　对自锁螺母振动失效件采用体

却介质为4%~5%PAG淬火液，冷至150~250℃时出水，回火温度200℃，回火时间3h后空冷，再进行超声波检测。淬火、回火工艺曲线如图3所示。



a）淬火曲线　　b）回火曲线

图3　淬回火工艺曲线

4　结束语

综上所述，20CrMnTi钢起竖液压缸座锻坯推荐使用4%~5%PAG淬火液进行淬火，力学性能可满足技术要求，且没有淬火开裂的风险，同时该材料的使用保证了起竖液压缸的焊接性能。后续批次的起竖液压缸座在焊接过程和车辆交付使用中未出现任何质量问题。

参考文献：

[1] 杨满.热处理工艺参数手册[M].北京：机械工业出版社，2012.

[2] 樊东黎，徐跃明，佟晓辉.热处理工程师手册[M].2版.北京：机械工业出版社，2004.

MW 20210311