硬化层深度测厚仪在感应淬火零件上的应用

尤蕾蕾，端木培兰，孙小东，陈小超

摘要：介绍了SH-65硬化层深度测厚仪的测量原理，并与感应淬火的解剖硬度法进行了比较，得到了仪器法和硬度法的对应关系，并确定了SH-65硬化层深度测厚仪的适用范围，为无损检测感应淬火零件提供了可靠依据。

关键词：硬化层；硬度；无损检测

1. 概述

感应淬火产品的淬硬层深度是决定其是否具有高可靠性和使用寿命的关键因素之一，如果硬化层深度达不到设计要求，在使用过程中将会由于承载能力和耐磨性的急剧下降导致零件的早期失效。长期以来，感应淬火产品的硬化层深度处于无法通过无损手段进行检测的状态，以往感应淬火流程是：试验件感应淬火→解剖检测硬化层深度→根据检测结果调整淬火工艺→再解剖检测直到找出满足技术要求的工艺参数→进行产品淬火。产品的硬化层深度只能依靠工艺保证，成品零件已无法解剖检测，由于淬火设备的自动化程度低，使得淬火零件的质量一致性较差，因此仅依靠淬火工艺很难保证每个零件的淬火硬化层深度均能满足技术要求。

随着科技的发展，用户对产品寿命及可靠性的要求越来越高，以轴承为例，尤其是风电轴承特殊的服役条件，使得感应淬火硬化层深度成为决定其可靠性的关键因素，因此实现对感应淬火产品硬化层深度的无损检测迫在眉睫。经考察，我公司从日本引进了一台SH-65硬化层测厚仪，对感应淬火零件硬化层深度进行无损检测，指导感应淬火零件的生产，以达到降低生产成本和保证产品质量的目的。

目前，硬度法是最为行业所认可的硬化层深度检测方法，同时也是国家标准《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》（GB/T 5617—2005）中规定的检测方法。由于仪器法与硬度法的检测原理不同，结果存在偏差，因此必须将二者的检测结果进行比较，找出其对应关系，不断进行研究探索，以确定SH-65硬化层测厚仪的适用范围，从而达到实现用SH-65硬化层测厚仪对感应淬火零件硬化层深度进行无损检测的目的。

2. 测量原理

SH-65硬化层测厚仪（见图1）是采用超声波检测的方法，利用背散射原理对感应淬火硬化层深度进行测量的，原理如图2所示。

零件经过感应淬火后硬化层结晶组织与母材基体材料相比变得更细小、均匀，硬化层对超声波几乎没有阻力，而没有经过硬化的基体材料则会大量散射超声波。该仪器是对超声波在到达不同结晶组织界面层时所发生的反射回波（散射回波）的位置进行检测。具体而言，就是使超声波从对象物体的表面入射，测量其到硬化层边界附近母材层所发出的超声波散射回波的传播时间，再通过波的传播速度将其换算成距离来测量硬化层的深度。典型

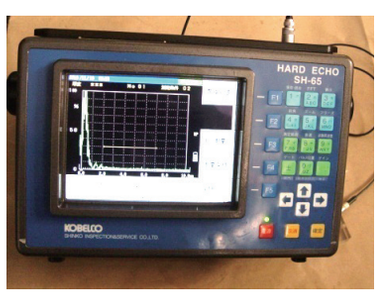

图1 SH-65硬化层测厚仪

检测波形如图3所示。

3. 硬度法与仪器法的对比

由于用仪器法与硬度法的原理不同，要应用仪器法检测首先要掌握二者的对应关系。

硬度法的原理是将感应淬火的零件解剖后，在垂直表面横截面上进行硬度测量：极限硬度的点到表面的距离为有效硬化层深度D_s（极限硬度即为零件表面所要求的最低硬度的0.8倍）[1]。本文所采用的极限硬度值按48HRC计算。

为了掌握和应用SH-65硬化层测厚仪，我们在不同的材料、不同形状的试样表面进行感应淬火试验，然后分别用硬度法和仪器法检测对比，摸索出两种方法之间的对应关系，并进一步探索零件形状和材料对仪器法检测准确度的影响。具体如下：

（1）平面试样　分别切取42CrMo和50Mn钢制平面感应淬火零件进行硬度法与仪器法的检测，试样切片分别如图4、图5所示，检测数据见表1、表2。

（2）圆弧试样　分别切取40CrNiMo和50Mn钢制圆弧感应淬火零件进行硬度法与仪器法的检测，试样切片如图6、图7所示，检测数据见表3、表4。

（3）数据分析　从表1、表3中可以看出，42CrMo、40CrNiMo两种材料无论平面试样还是圆弧试样，仪器法和硬度法的检测数据均非常接近，对于硬化层较深的零件，这种偏差基本可以忽略不计，因此仪器法检测数据不受零件形状的影响，同时也说明仪器法适用于42CrMo、40CrNiMo两种材料的零件检测。

从表2、表4可以看出，无论平面试样还是圆弧试样，用仪器法与硬度法的检测偏差均较大，这也进一步验证了仪器法的检测数据不受零件形状的影响。仪器法与硬度法的偏差为3.1～3.6mm，这是因为该零件材料为50Mn，属于碳素钢材料，淬透性差，过渡区大（见图5、图7），硬度法检测到的深度非常浅，而仪器法检测的数据包含了过渡区的深度，这说明仪器法不适用于对淬透性较差的材料以及淬火过渡区大的零件进行检测。

为了进一步验证不同材料对仪器法检测数据的影响，我们解剖了大量的淬火试样，分别用仪

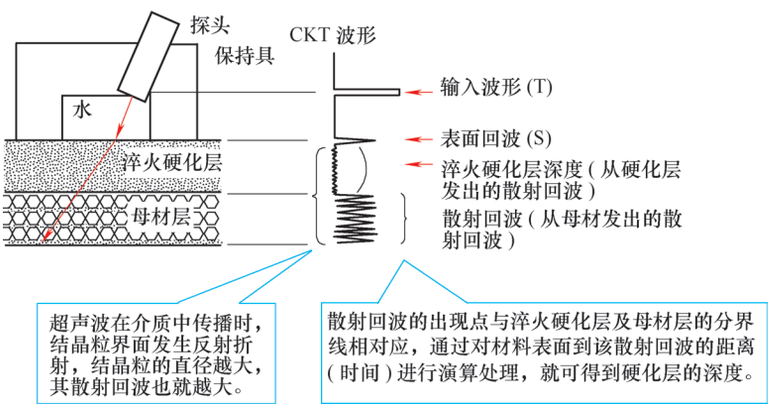

图2　超声波无损检测原理

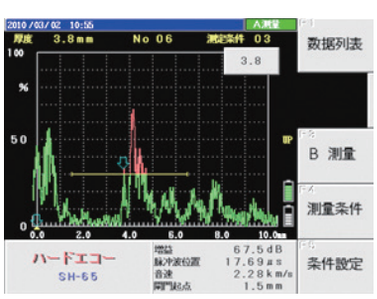

图3　硬化层检测波形

表1　42CrMo平面试样检测数据

测量位置	硬化层深度/mm		
	硬度法	仪器法	偏差
1	6.8	6.9	0.1
2	5.3	5.5	0.2

表2　50Mn平面试样检测数据

测量位置	硬化层深度/mm		
	硬度法	仪器法	偏差
1	2.1	5.3	3.2
2	2.4	5.5	3.1
3	2.2	5.3	3.1

图4　42CrMo平面试样

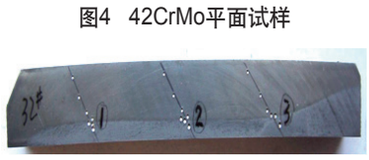

图5　50Mn平面试样

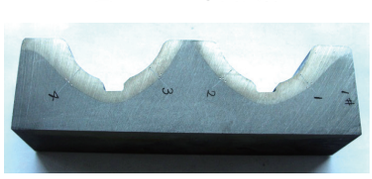

图6　40CrNiMo圆弧试样切面

图7　50Mn圆弧试样切面

器法和硬度法检测后数据汇总见表5。

从表5可以看出，仪器法与硬度法所测量的数值存在一定的偏差，偏差大小与材料及硬化层过渡区的大小有关系。由于检测原理和方法不一致，仪器法和硬度法没有定量的线性关系，但从检测数据可以看出，仪器法的测量数据较硬度法偏大。因合金钢的淬透性好，淬火后的过渡区小，其仪器法与硬度法检测数据几乎接近，仪器法比硬度法深约0～0.2mm，对深层感应淬火的合金钢零件，这个偏差可忽略不计。而碳素钢的淬透性较差，淬火后的过渡区大，其仪器法与硬度法的检测数据偏差较大，为1.3～3.7mm，故不建议用SH-65硬化层深度测厚仪对感应淬火后的碳素钢进行硬化层深度检测。

表3　40CrNiMo圆弧试样检测数据

测量位置	硬化层深度/mm		
	硬度法	仪器法	偏差值
1	6.54	6.6	0.06
2	6.0	6.0	0
3	5.72	5.8	0.08
4	6.48	6.5	0.02

表4　50Mn圆弧试样检测数据

测量位置	硬化层深度/mm		
	硬度法	仪器法	偏差
1	1.1	4.7	3.6
2	1.0	4.5	3.5

表5　仪器法与硬度法检测的对比数据

编号	零件材料	硬化层深度/mm		
		仪器法	硬度法	偏差
1	42CrMo	7.1	6.9	0.2
2	42CrMo	6.9	6.8	0.1
3	42CrMo	5.2	5.0	0.2
4	42CrMo	2.0	2.0	0
5	40CrNiMo	7.8	7.6	0.2
6	40CrNiMo	6.3	6.2	0.1
7	40CrNiMo	5.9	5.9	0
8	40CrNiMo	6.8	6.7	0.2
9	40CrNiMo	5.4	5.4	0
10	40CrNiMo	5.6	5.5	0.1
11	40CrNiMo	3.6	3.6	0
12	40CrNiMo	2.5	2.5	0
13	5CrMnMo	6.4	6.3	0.1
14	5CrMnMo	5.1	5.1	0
15	5CrMnMo	4.5	4.5	0
16	5CrMnMo	2.8	2.8	0
17	50Mn	5.3	1.6	3.7
18	50Mn	3.7	0.8	2.9
19	50Mn	3.5	0	3.5
20	50Mn	3.0	1.7	1.3
21	45	4.6	1.8	2.8
22	45	4.0	2.1	1.9
23	45	3.6	0	3.6
24	45	2.0	0	2.0

4. 结语

（1）SH-65硬化层深度测厚仪的检测准确度（和硬度法相比）与被测零件的表面形状无关。

（2）SH-65硬化层深度测厚仪适用于42CrMo、5CrMnMo、40CrNiMn等合金钢零件的感应淬火硬化层检测，由于其淬透性好、过渡区小，因此检测数据准确可靠，可以替代硬度法。

（3）SH-65硬化层深度测厚仪不适用于50Mn、45等碳素钢零件的感应淬火硬化层检测，由于其淬透性差，过渡区大，因此检测数据无法反映硬化层的真实情况。

参考文献

[1] 全国热处理标准化技术委员会. GB/T 5617-2005，钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定[S].北京:中国标准出版社，2005.

作者简介：尤蕾蕾，洛阳LYC轴承有限公司，航空精密轴承国家重点实验室，工程师，主要从事金属材料及热处理方面的研究。端木培兰、孙小东、陈小超，洛阳LYC轴承有限公司，航空精密轴承国家重点实验室。

MW 20161026