

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.10.016

基于 38CrMoAl 螺杆机筒基体硬度与渗氮层性能对应关系的渗氮层深度测定研究

潘 渊

(舟山市质量技术监督检测研究院,浙江 舟山 316021)

摘要:针对 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度控制问题,对 38CrMoAl 螺杆机筒基体硬度和渗氮层表面硬度、硬度梯度、深度测定等方面进行了研究,开展了 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层测量实例分析,建立了基体硬度与渗氮层性能之间的对应关系,通过基体硬度的形成机理与控制研究,提出了 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度的控制范围和基体硬度宜设定的下限值。研究表明,基体硬度与渗氮层性能具有对应关系,基体硬度主要由调质硬度决定,基体硬度控制在 250 HBW ~ 300 HBW 范围可解决渗氮硬度不足、渗氮层深度偏浅并改善渗氮层的硬度梯度,渗氮层深度测定中基体硬度下限值设定为 250 HV 较适宜。

关键词:螺杆机筒;基体硬度;渗氮层;深度;测定

中图分类号:TH140.1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)10-1348-04

Determination of nitrided layer depth based on the corresponding relationship of 38CrMoAl screw barrel matrix hardness with nitriding performance

PAN Yuan

(Zhoushan Institute of Calibration and Tsetting for Quality and Technology Supervision, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Aiming at the problem of matrix hardness control of 38CrMoAl screw barrel nitriding layer, the matrix hardness and the surface hardness, hardness gradient and depth determination of 38CrMoAl screw barrel nitriding layer were studied. After the analysis of 38CrMoAl screw barrel nitriding layer measurement examples, the corresponding relation between matrix hardness and nitriding layer was established. Based on the formation mechanism and control of matrix hardness, the control range and the lower limit value of the matrix hardness of the 38CrMoAl screw barrel nitriding layer were proposed. The results indicate that, the properties of matrix hardness and nitriding layer has a corresponding relationship, matrix hardness is mainly determined by quenching and tempering hardness, hardness is controlled in 250 HBW ~ 300 HBW which can solve the shortage of nitriding, nitriding depth being shallow and improve the hardness gradient of the nitrided layer, in the depth measurement of the nitriding layer, the lower limit value of the matrix hardness is set to 250 HV with suitable.

Key words: screw barrel; matrix hardness; nitriding layer; depth; determination

0 引言

渗氮层深度是衡量零部件渗氮层性能的一项重要技术指标。渗氮层深度的测定是依据 GB/T 11354—2005《钢铁零件 渗氮层深度测定和金相组织检验》规定的硬度法和金相法两种。硬度法采用

维氏硬度,试验力为 2.94 N,从试样表面测至比基体维氏硬度高 50 HV 处的垂直距离为渗氮层深度,是有争议时使用的仲裁方法^[1],在生产实践中显得尤为普遍和重要。

38CrMoAl 渗氮螺杆机筒硬度高、耐磨性好、强度大,综合机械性能优良,是塑料机械中的关键部件。然

而由于现有技术标准对渗氮层基体硬度没有明确的指标规定^[2],实际检测中发现,过低的基体硬度造成渗氮层硬度和硬度梯度显著下降,以至于渗氮层测定深度范围内的部分区域梯度硬度明显偏低,已不能满足渗氮螺杆机筒对耐磨性、强度等方面的要求,需要通过适当调整测定方法,将梯度硬度明显偏低的区域从测定深度范围内剔除,以提高渗氮层深度测定的科学性和测量结果的可比性。

本研究用测量实例分析了基体硬度与渗氮层性能的对应关系,并通过渗氮层基体硬度形成机理的研究

分析,探讨了 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度的控制范围,提出在渗氮层深度的测定过程中对过低的基体硬度应设置下限值。

1 基体硬度与渗氮层性能具有对应关系

38CrMoAl 渗氮螺杆同炉试样在不同基体硬度时的表面硬度、脆性、渗氮层硬度梯度和测定深度的实测数据如表 1 所示。

表 1 38CrMoAl 渗氮螺杆同炉试样的表面硬度、脆性、渗氮层硬度梯度和深度实测数据		1 [#] 试样	2 [#] 试样	3 [#] 试样	4 [#] 试样	5 [#] 试样	6 [#] 试样	备注
项目								
基体硬度	HV0.3	298	285	272	261	248	239	
表面硬度	HV10	1 150	1 114	1 081	988	933	882	
0.05 mm 硬度梯度	HV0.3	1 016	982	934	862	836	786	
0.10 mm 硬度梯度	HV0.3	980	862	823	786	741	671	
0.20 mm 硬度梯度	HV0.3	752	730	700	635	602	564	氨气为气源的二段式氮化,氮化温度为 510 ℃ ~ 560 ℃,氮化时间 ≥62 h。
0.30 mm 硬度梯度	HV0.3	618	586	543	511	465	449	
0.35 mm 硬度梯度	HV0.3	459	470	449	420	389	381	
0.40 mm 硬度梯度	HV0.3	338	344	362	355	344	348	
0.45 mm 硬度梯度	HV0.3	/	312	328	321	325	325	
0.50 mm 硬度梯度	HV0.3	/	/	295	285	301	307	
0.55 mm 硬度梯度	HV0.3	/	/	/	/	277	293	
0.60 mm 硬度梯度	HV0.3	/	/	/	/	/	268	
测定的渗氮层深度	mm	0.39	0.41	0.46	0.47	0.50	0.56	
表面脆性等级		2 级	2 级	2 级	1 级	1 级	1 级	

表 1 中基体硬度对渗氮层硬度梯度的影响如图 1 所示。

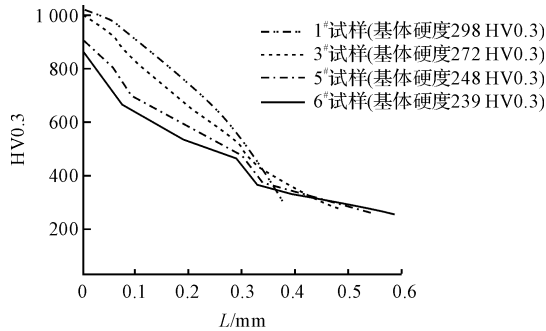


图 1 基体硬度对渗氮层硬度梯度的影响

表 1 中的数据表明:各组试样的渗氮层硬度随着与表面之间距离的增大而下降,并分别在距离表面 0.40 mm ~ 0.60 mm 的浅深层趋近于基体硬度(如图 1 所示)。试样的基体硬度与渗氮层性能具有密切的对应关系,随着渗氮层基体硬度的下降,试样表面硬度下降明显,表面脆性改善,渗氮层深度增加;随着渗氮层基体硬度的下降,试样渗氮层硬度梯度明显降低,尤其

是在对渗氮层深度的前 0.30 mm 段影响显著,对耐磨性要求高的螺杆机筒的使用寿命影响很大(如图 1 所示)。渗氮层基体硬度在 239HV0.3 时虽然测定的渗氮层深度达 0.56 mm,但表面硬度和硬度梯度显著下降,尤其是渗氮层深度 >0.45 mm 时的硬度已明显偏低;当渗氮层基体硬度达到 298 HV0.3 时虽然渗氮层的表面硬度和硬度梯度很高,但渗氮层深度明显减小;基体硬度在 248 HV0.3 ~ 285 HV0.3 范围内的表面硬度、硬度梯度和深度等渗氮层的综合性能良好。

表 1 是在 38CrMoAl 渗氮螺杆大量的实际检测过程中选取的较典型的几组实测数据,虽然样品的原材料、热处理工艺及控制过程不尽相同,但其总体趋势与基本特性反映了 38CrMoAl 渗氮螺杆基体硬度与渗氮层性能之间的对应关系。

2 渗氮层基体硬度的形成

渗氮层基体硬度是指距离表面 3 倍渗氮层深度时测得的硬度值,是由渗氮前的心部硬度与在该深度距

离处氮化引起的硬度增量相叠加的结果^[3],由于渗氮零件的心部性能是由渗氮前的热处理决定,距离表面 3 倍渗氮层深度处氮化引起的硬度增量很小,38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体组织的硬度主要由渗氮前的调质硬度决定。38CrMoAl 螺杆机筒典型的热处理工艺过程包括调质(淬火+高温回火)、去应力退火、渗氮。

38CrMoAl 调质过程的淬火温度由 38CrMoAl 的 A_{c_3} 决定一般为 $940\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,淬火介质由 38CrMoAl 的淬透性决定,一般为油或水^[4]。调质过程回火温度的选择不仅要根据基体硬度的要求,还必须考虑之后的去应力退火和渗氮过程的影响,回火温度越低,得到的回火索氏体越细小,基体硬度越高;回火温度上升,回火索氏体也随之粗大,基体硬度下降。去应力退火是将工件加热到 A_{c_1} 以下的一个适当的温度以消除变形加工、机械加工等过程产生的残余应力,38CrMoAl 的去应力退火温度一般控制在 $600\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。38CrMoAl 螺杆机筒气体渗氮是目前使用最为广泛的一种抗磨渗氮,分为一段(等温)、二段、三段式渗氮,渗氮温度范围一般在 $510\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 570\text{ }^{\circ}\text{C}$,渗氮温度越高,则氮原子的扩散速度越大,渗氮层深度增而硬度降低;渗氮温度降低,则氮原子的扩散速度减低,氮化硬质点更多在表面集聚,渗氮层深度减少而硬度升高。

生产实践中为了保证基体组织的稳定性,避免去应力退火、渗氮时的心部组织产生变化,通常使回火温度比渗氮温度高 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,去应力退火温度则控制在回火温度与渗氮温度之间,38CrMoAl 螺杆机筒渗氮前的调质回火温度一般应控制在 $640\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 680\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围之内。国内相关研究实验得到的 38CrMoAl 调质回火温度与基体硬度关系^[5]如表 2 所示。

表 2 38CrMoAl 调质回火温度与基体硬度的关系

基体硬度 /HBW	回火温度 / $^{\circ}\text{C}$	保温时间 /min	冷却介质	备注
200	710	60	水冷	氨气为气源的二段式氮化,氮化温度为 $510\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 560\text{ }^{\circ}\text{C}$,氮化时间 $\geq 62\text{ h}$ 。
220	700	60	水冷	
240	690	60	水冷	
260	680	60	水冷	
280	660	60	水冷	

3 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度的控制

38CrMoAl 渗氮螺杆机筒对硬度、强度、耐磨性和综合机械性能的要求高,虽然相关技术标准中未对渗

氮层的基体硬度作出明确的规定,但是实践和研究表明渗氮层的基体硬度与其最终性能质量关系密切,基体硬度是生产过程中必须严格控制的关键技术工艺指标,研究确定 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度的适用范围对生产实践具有普遍的指导意义。

38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层的基体硬度主要由渗氮前的调质硬度决定,基体硬度与渗氮层具有密切的对应关系,随着渗氮层基体硬度的降低,渗氮层硬度及硬度梯度也随着降低,当渗氮层基体硬度过低时,渗氮层硬度和硬度梯度显著下降,生产实践中为了保证渗氮层硬度必须使其调质硬度达到相对应的值^[6]。表 1 的数据分析表明,基体硬度在 248 HV 以上时,渗氮层的表面硬度、硬度梯度和深度等均具有良好的性能。近几年国内的相关研究表明:调质硬度控制在 250 HBW $\sim$ 280 HBW 范围,可解决渗氮硬度不足和渗氮层深度偏浅,并可改善渗氮层的硬度梯度^[7-8];基体硬度对浅层氮化的表面硬度影响明显,而对深层氮化的表面硬度影响较小,控制基体硬度在 260 HBW $\sim$ 300 HBW 范围,可解决渗氮硬度不足问题。综上所述,38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度控制在 250 HBW 以上,即维氏硬度 $\geq 250\text{ HV}$ ^[9]是适宜的。

同时,由于受到为保持基体组织的稳定性对降低调质回火温度的限制、保证渗氮层深度和改善机械加工性能等因素的制约,渗氮层基体硬度实际上也不能过高,一般应控制在 300 BHW 以下。因此,为了保证 38CrMoAl 氮化螺杆机筒渗氮层的表面硬度、硬度梯度和深度等综合性能,渗氮层基体硬度控制在 250 HBW $\sim$ 300 HBW 之间是合理的。

4 渗氮层深度测定中过低基体硬度下限值的设置与表示

采用硬度法进行渗氮层深度测定中,渗氮层深度是从试样表面测至比基体维氏硬度高 50 HV 处的垂直距离来定义的,因此基体维氏硬度的高低对渗氮层深度测定结果影响很大。基体硬度越低却越有利于渗氮层深度的测定,过低的基体硬度造成渗氮层表面硬度和硬度梯度显著下降,以至于渗氮层测定深度范围内的相当一部分区域梯度硬度明显偏低,已不能满足渗氮螺杆机筒对耐磨性、强度等方面的要求,螺杆机筒通过渗氮而强化作用大为减弱。因此,在螺杆机筒渗氮层深度测定过程中通过设定基体硬度下限值,将梯度硬度明显偏低的区域从测定深度范围内剔除很有必要。其主要作用表现在:①提高渗氮层深度测定的科学性和测量结果的可比性;②对渗氮层基体硬度提出

了间接的指标要求从而引导生产者改进工艺、加强过程控制与管理、提高产成品质量。

结合前面的分析研究结果,考虑到渗氮层深度测定采用维氏硬度,将渗氮层深度测定过程中的基体硬度的下限值设定在 250 HV 较适宜。在渗氮层深度测定过程中,当测得的基体硬度 < 250 HV 时,本研究均以从试样表面测至比 250 HV 硬度高 50 HV 处,即硬度为 300 HV 处的垂直距离作为渗氮层的测定深度,并按照 GB/T 11354—2005 的规定统一用 300 HV 的界限硬度表示测定结果;当测得的基体硬度 $\geq$ 250 HV 时,渗氮层深度则均按照 GB/T 11354—2005 的规定进行测定与表示。

5 结束语

本研究通过基体硬度的形成机理与控制研究,提出 38CrMoAl 螺杆机筒渗氮层基体硬度的控制范围和基体硬度宜设定的下限值,研究结果表明:

(1) 38CrMoAl 渗氮螺杆机筒的渗氮层硬度随着与表面之间距离的增大而下降,一般在距离表面 0.40 mm ~ 0.60 mm 的浅深层趋近于基体硬度。

(2) 38CrMoAl 渗氮螺杆机筒基体硬度主要由渗氮前的调质硬度决定。调质的回火温度越低,基体硬度越高;回火温度上升,基体硬度下降。为了保证基体组织的稳定性,一般应使调质回火温度比渗氮温度高 50 ℃ 左右,去应力退火温度应在回火温度与渗氮温度之间。

(3) 38CrMoAl 渗氮螺杆机筒的基体硬度与渗氮层表面硬度、硬度梯度、深度、脆性具有密切的对应关系。随着渗氮层基体硬度的降低,渗氮层表面硬度及硬度梯度也伴随着降低,表面脆性改善,渗氮层深度增加。

(4) 38CrMoAl 渗氮螺杆机筒的渗氮层基体硬度控制在 250 HBW ~ 300 HBW 范围,可有效地解决渗

氮硬度不足和渗氮层深度偏浅,改善渗氮层的硬度梯度。

(5) 38CrMoAl 渗氮螺杆机筒渗氮层深度测定中基体硬度下限值设定为 250 HV 较适宜。具体地说,当基体硬度 < 250 HV 时,以从试样表面测至比 250 HV 硬度高 50 HV 处的垂直距离作为渗氮层的测定深度,并按照 GB/T 11354—2005 的规定统一用 300 HV 的界限硬度表示测定结果;当基体硬度 $\geq$ 250 HV 时,则应按照 GB/T 11354—2005 的规定进行测定与表示。

参考文献(References):

- [1] 国家标准化工作委员会. GB/T 11354—2005 钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [2] 国家工业和信息化部. JB/T 8538—2011 塑料机械用螺杆机筒[S]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [3] 才鸿年,马建平. 现代热处理手册[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [4] 国家标准化工作委员会. GB/T 3307—1999 合金结构钢[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [5] 李学强,张少鹏. 不同基体硬度对氮化层硬度的影响[J]. 河南科技,2013(5):63-147.
- [6] 孔繁宇. 工件渗氮后的硬度与其调质硬度之间的关系[J]. 热处理,2008,23(3):65-67.
- [7] 李红革. 常用渗氮材料的调质硬度对渗氮层性能的影响[J]. 国外金属热处理,2005,26(4):26-28.
- [8] 石来民,卢志明,朱沈瑾,等. 激光喷丸参数对 304 不锈钢表面性能的影响[J]. 轻工机械,2015,33(2):33-36.
- [9] 国家标准化工作委员会. GB/T 1172—1999,黑色金属硬度及强度换算值[S]. 北京:中国标准出版社,1999.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

潘 渊. 基于 38CrMoAl 螺杆机筒基体硬度与渗氮层性能对应关系的渗氮层深度测定研究[J]. 机电工程,2015,32(10):1348-1351.

PAN Yuan. Determination of nitrided layer depth based on the corresponding relationship of 38CrMoAl screw barrel matrix hardness with nitriding performance [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(10):1348-1351.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>