

重型汽车变速箱轴类产品 有效硬化层深的探讨

宝鸡法士特齿轮有限责任公司 (陕西 722409) 高伍路

重型汽车变速箱轴类产品是一种重要零件,服役条件为高周疲劳和冲击负荷,受弯曲和扭转复合应力。常见的失效形式有磨损、瞬时过载脆断、表面变化、疲劳断裂、咬蚀。其截面上的应力分布是不均匀的,最大应力发生在轴的表层而轴的中心受力很小,一般只要求自表面的3/4半径或1/2半径处淬硬就行了。因此一般选用低碳合金钢,然后采用表面渗碳处理进行表面强化,即把钢件在渗碳介质中加热、保温,使其表面获得一定的含碳量和浓度梯度,从而使零件获得高的表面硬度、耐磨性及高的接触疲劳强度和弯曲疲劳强度。而轴类产品的有效硬化层深是影响其渗碳失效和疲劳强度的一个非常重要的关键指标,因此应重点加以研究。

本文以某变速箱厂8620H、8627RH等材料的直长轴类零件为对象进行跟踪研究,这些轴类件的化学成分均符合GB/T 5216-2004《保证淬透性结构钢》标准。零件的加工工艺路线为:锻造→等温正火→粗车→精车→清洗→渗碳淬火→清洗→回火→清理喷丸→校直→精加工→入库。技术要求为:有效硬化层深0.84~1.34mm,心部硬度30~42HRC,表面硬度58~64 HRC,碳化物≤4级,残留奥氏体≤5级,上述两种材料的轴在双推连续炉进行渗碳,20CrNi3材料的轴在多用炉生产线上渗碳淬火。

一、有效硬化层深检测

由于有效硬化层深已经被公认为比较能准确反应零件实际力学性能的渗碳层深数据,在有争议的情况下,该方法是唯一可采用的仲裁方法,所以本文所有层深数据均为有效硬化层深度。根据有关标准的定义可知,有效硬化层深度是指齿轮经所有热处理工序后,于齿宽中部法向截面上,在节圆处沿垂直于齿面方向自表

面测至550HV1(或52HRC)处的距离,即本文所述的1/2齿顶高处。本文所有检测结果均根据钢件渗碳淬火硬化层深度的测定与校核(GB/T 9450-2005)和重载齿轮渗碳质量检验(JB/T 6141.2-1992)两标准进行测定,测定的设备为日本恒壹的FM70显微硬度机。

二、工艺条件

(1) 预备热处理 轴类产品采用的锻造方式主要是模锻和轧制,预先热处理均采用等温正火工艺。比如,8620H材料的一轴在奥氏体化温度930℃保温4h,风冷至580℃保温3h,毛坯硬度控制在160~197HBW;8627RH材料的副箱主轴采用900℃保温4h,风冷至650℃保温3h,毛坯硬度控制在156~197HBW,中间轴有两种材料,均先在930℃保温4h,然后在630℃保温3h,8620H的毛坯硬度一般控制在160~197HBW,20CrNi3的毛坯硬度一般控制在170~241HBW。通过等温正火工艺,可以很好地消除部分锻造缺陷,获得较细的珠光体和分散度较大的铁素体,有利于之后渗碳扩散过程的进行和淬火组织的细化。

(2) 其他渗碳条件 炉压都控制在200~300Pa之间,因为炉压过大可能对设备的损害比较大,而炉压过小就会影响渗速。一轴和副箱主轴采用立装,而中间轴采用垂直悬挂的装卡方式。装量每盘在150~200kg之间,淬火介质采用好富顿G油。工件的表面状态要求清洗较干净,无明显油污。

三、剖物数据举例及讨论

(1) 数据列举 首先分别对这三种典型的直长轴进行了剖物分析,简图分别如图1、图2、图3所示;数据分别如表1、表2、表3所示。

(2) 数据分析 以上各数据均为同一零件上的

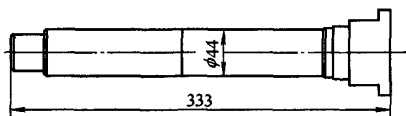


图1 一轴

表1 一轴数据举例

距表层距离/mm	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	有效硬化层深/mm
硬度HV(1/2齿顶高处)	776	769	730	643	566	530	1.09
硬度HV(磨削光轴处)	761	743	651	587	465	386	0.86

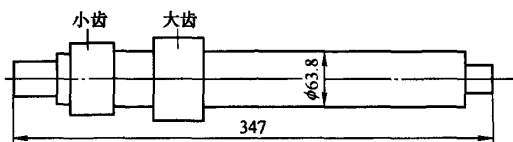


图2 中间轴

表2 中间轴数据举例

距表层距离/mm	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	有效硬化层深/mm
硬度HV(1/2大齿齿顶高处)	733	710	719	684	651	577	506	1.07
硬度HV(1/2小齿齿顶高处)	765	780	719	643	580	524	—	1.10
硬度HV(磨削光轴处)	740	700	654	532	437	—	—	0.77

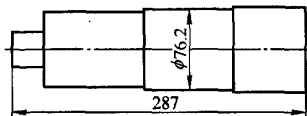


图3 副箱主轴

表3 副箱主轴数据举例

距表层距离/mm	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	有效硬化层深/mm
硬度HV(1/2花键齿高处)	758	733	700	678	618	570	543	1.26
硬度HV(磨削光轴处)	747	687	621	541	434	390	—	0.78

齿部和磨削光轴面之间的层深对比关系,因此最能有效地揭示齿部和光轴面层深的关系。我们可以看到,一轴1/2齿顶高处和磨削光轴处的有效硬化层深相差0.23mm,而中间轴最少相差0.30mm,副箱主轴相差达0.48mm。根据图样的技术要求轴面的有效硬化层深均要求在0.7mm以上,与之相矛盾的是生产安排中的轴类产品数量较少,所以对产品进行渗碳时,大多选择混装

的方式,这样就必须把齿部的有效硬化层深控制在技术要求的上限,这样才能兼顾使轴面的有效硬化层身达到图样要求。另外,在实际生产中通过大量的产品剖物结果,可以发现同种材料、同种工艺的情况下,随着轴的直径的增大其光轴面有效硬化层深呈减少趋势,例如上述的一轴和中间轴就是同工艺进行渗碳处理的。同种工艺下材料的不相同也可能导致产品轴面有效硬化层深差别巨大,比如在多用炉中,同一炉次放上8620H和20CrNi3两种材料的轴,一种是某中间轴,采用20CrNi3材料其上 $\phi 77.9$ mm光轴处有效硬化层深为0.87mm,而另一种是某二轴材料为8620H,在其上 $\phi 70$ mm光轴处有效硬化层深为0.75mm,这是由于20CrNi3化学成分中含有高达2.75%~3.15%(质量分数)的Ni元素,而Ni元素具有显著提高钢的淬透性的能力。

四、讨论

(1) 预先热处理对渗碳的影响 上述轴类产品均采用等温正火的工艺,最终可使渗碳淬火后的产品组织更均匀,晶粒更细,这样疲劳强度也就更高了。如果不正火,那么就很有可能影响到渗碳速度。比如在箱式多用炉处理过一种未正火的20CrMnTi材料的轴,直径为45mm,层深要求为1.2~1.6mm,采用平时的轴类工艺约9h,无法达到层深要求。后只能提高温度,强渗温度采用了930℃,比正火的轴要高10℃,用了大约16h处理有效硬化层深才达到要求。个人认为,这主要是因为组织细化后,碳原子在扩散的过程中阻力会大大减小所致,可见预先热处理对渗碳是有很大影响的。

(2) 轴类零件淬火质量效应 从上述列举的数据看,首先,在淬火介质不变的情况下,即全部采用好富顿G油,随着轴截面的增大,轴类产品有效硬化层深要想达到图样要求就越困难,这是因为零件越大,其内部蓄热量就大,淬火时整体的冷却速度就越慢,金相组织中铁素体、贝氏体等非淬火组织增多,导致零件心部硬度降低,从而就影响了轴的有效硬化层深,有资料称这种现象为“钢的淬火质量效应”。另外,从装炉量上看,如果轴装的密度比较大,一般它的冷却效果也会打折扣,从而影响到轴的有效硬化层深。像上述这些比较重要的轴类产品,其结构形状已无改善余地,而淬火油也不可能因为个别产品而更换,所以最好的办法就是可改用淬透性较好的材料。比如这种副箱主轴该厂已改用20CrNi3材料,实际使用效果良好,大大提高了工艺层

深的可控性和稳定性。

(3) 渗碳条件 首先, 轴零件的表面状态对热处理工艺性也有很大影响, 工件表面的污物会使其表面产生钝化膜。钝化膜的存在会影响碳在工件表面的吸附。轴面热处理前要有一定的表面粗糙度, 表面粗糙度值低, 淬火冷却时的气膜不易附着, 会减少蒸汽膜阶段对淬火的影响, 渗碳零件表面粗糙度一般不高于 $R_a=6.3\mu\text{m}$, 且表面不能有较深的印痕, 关键部位也不能有印痕, 所以该厂设计的轴, 其轴面粗糙度要求一般 $R_a\leq 6.3\mu\text{m}$ 。此外, 在连续推盘炉还有一道预氧化程序, 即将工件加热到 400°C , 在无保护气氛情况下, 使工件表面残油被清除的同时, 被空气氧化生成一层薄 Fe_3O_4 的氧化膜, 在渗碳时气氛中的碳会优先将氧化膜还原成新生态的铁: $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$ 。新生态的铁具有很强的表面活性, 可以促使碳在工件表面的吸附。再就是车间对磕碰产品的考核力度也特别大, 尽量减少人为疏忽大意造成的磕碰。

其次, 时间、温度、碳势这三个工艺参数对有效硬化层深度的影响非常关键, 一般较高的温度和碳势都会显著地增加渗层深度, 但是温度和碳势不是越高就越好, 往往过高的温度和碳势会增加炉内产生碳黑的速

度, 当碳黑的量达到一定水平时, 就会对渗碳过程产生阻渗效应, 从而抑制工件表面对碳的吸附。一般工艺时间越长渗碳层就会越深, 零件的硬化层深度也就越深, 但这是有一定限度的, 根据扩散原理很容易理解, 随着零件表层碳浓度的增加, 这一过程会呈现减速的状态。对于轴类零件来说也是一样的, 由于其“淬火质量效应”的存在, 当轴面的化学渗碳层增加到一定程度时, 其有效硬化层深并不是同步增长的, 两者并不存在正比关系, 大量类似轴的齿部和轴面剖物后, 经退火发现它们的化学渗碳层深相差大多都在 0.1mm 左右。

五、结语

渗碳是一个极其复杂的过程, 对于变速箱轴类产品来说, 影响其有效硬化层深的因素也很多。通过平时积累的一些数据和经验, 笔者认为影响其工艺性的主要就是上述讨论中提到的几个方面, 生产中要实现轴类产品和片状齿轮的混装, 就必须考虑到轴磨削面的淬火质量效应, 应将过程性试样的有效硬化层深控制在技术要求的上限, 配合适当的装炉量, 把好热前产品的表面质量关, 这样才能有效地控制好轴类产品的有效硬化层深。MW (20110108)

(上接第15页)

以缩短加热时间; 降低感应器的高度, 扫描淬火时零件局部受热面积减小, 加热时间缩短, 硬化层深度下降, 这些都能有效地减小零件的开裂倾向。为此, 我们把原感应器的尺寸由 $\phi 70\text{mm} \times 20\text{mm}$ 调整到 $\phi 73.5\text{mm} \times 16\text{mm}$ 。

采用新的感应器加热, 工艺参数基本不变, 淬火后花键处硬化层深度为 2.86mm , 表面硬度 $54 \sim 57\text{HRC}$, 均符合技术要求, 磁粉探伤后未出现开裂情况。

2. 齿部的工艺改进

齿部的感应器改进如图6所示。感应器与喷水套合为一体, 内圈通淬火介质, 加热完成后内孔喷淋淬火介质冷却工件, 外圈通循环冷却水, 防止加热过程中感应器烧坏。采用此感应器加热, 工艺参数不变, 淬火后硬化层深度为 3.2mm , 表面硬度 $54 \sim 56\text{HRC}$, 均符合技术要求, 磁粉探伤后也未出现开裂。

按改进后的工艺, 我们连续生产了几批同规格的齿轮轴, 均未出现不合格情况。

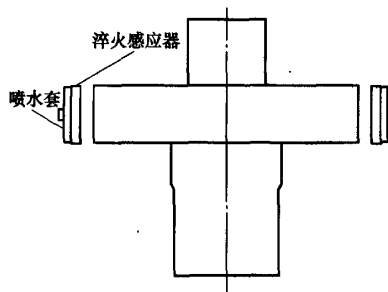


图6 改进后齿部的感应器

五、结语

(1) 采用圆形感应器加热齿轮轴, 硬化层和硬度均匀, 冷却时采用一定浓度的淬火介质, 零件不易开裂。

(2) 零件表面较深的切削刀痕和非正常调质组织是造成齿轮花键开裂的主要原因, 感应淬火前加一道去应力退火工序, 改善了零件表面的切削应力, 可以防止零件淬火后开裂。

(3) 齿部感应器和喷水套合二为一, 加热完后立刻喷淋冷却, 防止硬度不达标。MW (20110112)