

深层渗碳淬火齿轮 剥落原因分析

南京高精齿轮股份有限公司（江苏 210012） 朱百智 石 斌 马红武 郭祺龙

在某小型热处理厂经过渗碳淬火处理的大模数齿轮，在使用2个月后，多个轮齿出现了程度不同的剥落现象。本文从原材料质量状况、渗碳淬火过程和组织形态特点等方面分析了剥落现象的产生原因。

一、齿轮剥落的宏观形貌

一件渗碳淬火齿轮（材料：20CrMnMo；外径：570mm；内径：335mm；齿宽：310mm；模数：18；齿数：29）在使用2个月后，12个轮齿的齿面出现了程度不同的剥落现象，如图1、图2所示。主要表现出以下特点：

- （1）剥落现象集中分布于40%连续排列的轮齿。
- （2）剥落现象集中在轮齿的工作面。
- （3）剥落深度在0.5~2mm，剥落面积在5~30mm²，剥落范围接近齿宽的100%。

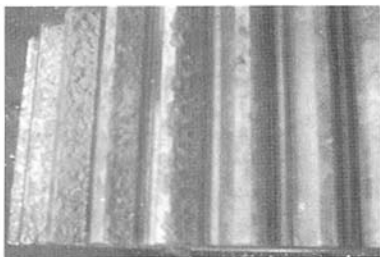


图1 齿轮工作面的剥落现象

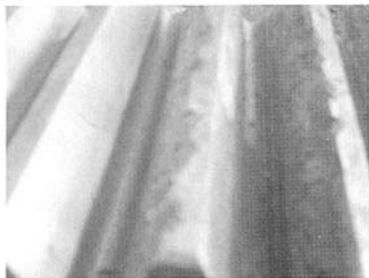


图2 齿轮非工作面未发生剥落现象

二、原材料状况

1. 化学成分

在20CrMnMo齿轮的本体上进行了取样，对其成分进行了检测，检测结果如表1所示。可以看出，齿轮材料化学成分符合JB/T6395—1992标准（大型锻件标准）要求。

表1 20CrMnMo齿轮的化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
含量	0.19	0.26	1.0	0.005	0.010	1.22	0	0.26
JB/T6395—1992标准要求	0.17~0.23	0.17~0.37	0.9~1.2	≤0.035	≤0.035	1.1~1.4	0	0.2~0.3

2. 力学性能

在20CrMnMo齿轮的本体上进行取样，对其力学性能进行了检测，检测结果如表2所示。可以看出，齿轮材料的力学性能符合JB/T6395—1992标准（大型锻件标准）要求。

表2 20CrMnMo齿轮的力学性能

指标	R_m /MPa	R_{el} /MPa	A (%)	Z (%)	A_K/J
测试值	1185	919	13.6	50	59
JB/T 6395—1992标准要求	≥1080	≥835	≥10	≥45	≥55

3. 非金属夹杂

在20CrMnMo齿轮的本体上进行了取样，对其非金属夹杂指标进行了检测，检测结果如表3所示。可以看出，齿轮材料的非金属夹杂指标符合GB/T10561—1989标准要求。

表 3 20CrMnMo 行星齿轮的非金属夹杂指标

项目	A		B		C		D	
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
评级	0	0	0	0	1	0	1	0
GB/T10561—1989 标准要求	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2

4. 探伤检查

20CrMnMo 齿轮经过了正火、粗车、滚齿、渗碳淬火和磨齿等加工工序。在零件出厂前的超声波和磁粉探伤检查过程中,均未发现裂纹和其他缺陷存在。

三、热处理结果

1. 热处理技术要求

20CrMnMo 齿轮渗碳淬火技术要求如表 4 所示。

表 4 20CrMnMo 齿轮的渗碳淬火要求

材料	名称	模数	图样/工艺有效硬化层深要求/mm (以 550HV 为限)	齿面硬度 HRC	心部硬度 HRC	渗层金相组织
20CrMnMo	齿轮	18	2.6~3.2/ 3.0~3.6	57~ 62	≥ 25	JB/T 6141 63—1992 相关要求

2. 渗碳淬火流程

20CrMnMo 齿轮的渗碳工艺过程发生于自动化程度较低的小型渗碳炉(人工数介质滴量方法控制),如图 3 和图 4 所示。

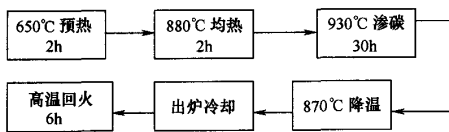


图 3 20CrMnMo 齿轮渗碳工艺流程

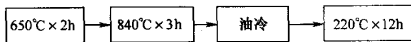


图 4 20CrMnMo 齿轮淬火工艺流程

3. 渗碳淬火结果与分析讨论

在 20CrMnMo 齿轮的零件实物的齿宽中间位置截面上,任意选取用线切割的方法截取的一块试样(包含 165 个轮齿),如图 5 所示。如前所述,由于工作面剥落深度在 0.5~3mm 之间,无法对剥落位置进行测试,因此,分别选择了未发生失效的非工作面(位置 1)、齿根

(位置 2)和心部(位置 3)进行了分析测试。

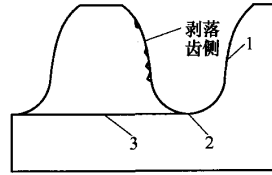


图 5 20CrMnMo 齿轮本体取样示意图

(1) 轮齿渗层表面和心部的金相组织 齿面渗层、轮齿心部和齿根的金相组织分别如图 6a、图 6b 和图 6c 所示。由图 6a 可以看出,磨齿后的齿面组织由回火马氏体、残余奥氏体和少量的粒状碳化物组成,此外齿面也出现了大量的贝氏体和托氏体等非马氏体组织;由图 6b 可以看出,轮齿的心部组织没有发现正常的心部淬火组织板条状马氏体,组织为铁素体和少量的碳化物;由图 6c 可以看出,未经磨削的齿根组织由回火马氏体、残余奥氏体和连续的网状碳化物组成,此外,在齿根表面也发现了贝氏体和托氏体等非马氏体组织。

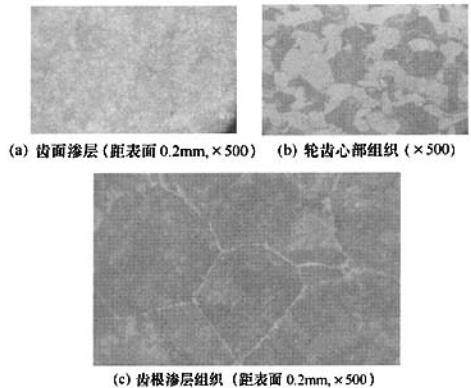


图 6 轮齿渗层表面和心部的金相组织

(2) 渗层的硬度梯度 非工作面(位置 1)和齿根(位置 2)渗层的硬度梯度如图 7 所示。

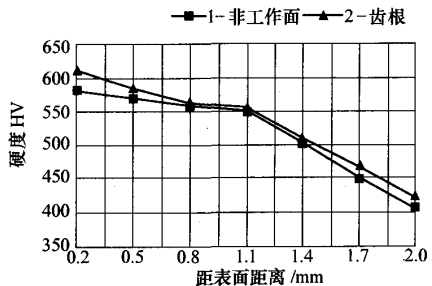


图 7 轮齿不同位置渗层的硬度

第一,齿面硬度及层深。由图7可以看出,渗层的最高硬度位于距齿面0.2mm处,硬度为580HV(53.5HRC),有效硬化层深度为1.1mm(以550HV为限)。齿面硬度和有效硬化层深与表4中的下限要求(57HRC和2.6/550HV)差距较大。

第二,齿根硬度及层深。由图7可以看出,渗层的最高硬度位于距齿面0.2mm处,硬度为610HV(55.5HRC),有效硬化层深度为1.1mm(以550HV为限)。未经磨削齿根的表面硬度不能满足表4中的下限要求(57HRC)。

第三,心部硬度。本文对轮齿的心部(图5中位置3)进行了测试,硬度为120HBW左右,远低于表4中25HRC的要求。

四、分析讨论

一般来说,齿轮副在啮合运转时,当距表面某一深度的剪切应力超过剪切强度时,容易发生剥落。如果渗层某一部位存在非金属夹杂或裂纹等缺陷,将导致该处强度降低,可能产生剥落。此外,由于齿轮表面硬化层的硬度梯度与强度分布有一定的比例关系,因此,对渗碳淬火齿轮而言,硬度梯度不合理、硬化层深不足以及渗层硬度和心部硬度不足都有可能产生剥落。

(1) 原材料因素 本文中发生剥落的齿轮,非金属

夹杂和加工过程探伤结果均符合要求,因此可以排除非金属夹杂或裂纹缺陷因素。

(2) 热处理因素 轮齿渗层出现了大量的非马氏体组织和不良碳化物,心部主要组织为铁素体,这导致了轮齿的渗层最高硬度值(53.5HRC)、有效硬化层深和心部硬度值(120HBW)均远低于实际要求,进而导致渗层出现剥落现象。造成渗碳淬火不良组织的可能原因包括:处理该齿轮的设备碳势控制精度低(工件实物层深严重偏浅、有连续网状碳化物产生),淬火实际保温温度严重偏低或时间严重偏短,油冷速度不足等。

五、结语

通过对渗碳淬火齿轮原材料和热处理因素的分析讨论,可以得到以下结论:

(1) 轮齿硬度梯度不合理。渗层最高硬度53.5HRC,心部硬度值严重偏低(120HBW),以及有效硬化层深严重偏浅,不足设计要求50%,这些是渗层出现的剥落现象的直接原因。

(2) 由于渗碳淬火设备控制精度低、过程失控导致了渗层和心部均产生了大量的非渗碳淬火组织,导致了渗层和心部硬度值严重偏低、有效硬化层深严重偏浅。

(3) 深层渗碳淬火齿轮不宜在自动化程度较差的设备系统中处理。热 (20070728)

(上接第25页)



图8

(4) 工业齿轮(见图9) 材料:18CrNiMo7-6; 渗碳层深度:1.5~3.5mm;装炉量:2500~5000kg; 渗碳温度:935℃;处理周期:15~72h。

5. 结语

(1) 经过几年的生产运行,实践证明超大型可控气氛多用炉设计先进、可靠、运行稳定。

(2) 大型可控气氛箱式多用炉的问世,大大扩大了

其应用领域,尤其是用于在工业齿轮的渗碳,提高了工业齿轮的质量,大大改善了操作环境,提高了自动化程度,减少了人为因素对产品质量的影响。

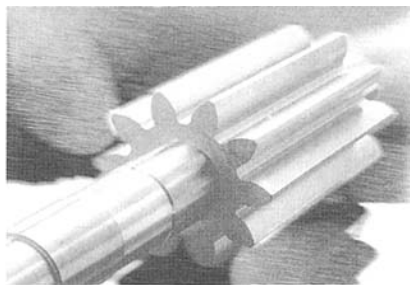


图9

(3) 特殊的淬火槽设计及油搅拌器的变频驱动,为优化冷却工艺、控制淬火变形提供了有效的工具。

(4) 超大型可控气氛多用炉是一个值得广泛推广的高科技产品。热 (20070725)