高负载链轮冷处理后失效原因分析

朱科，田林，贺飞龙
西安煤矿机械有限公司　陕西西安　710200

摘要：以某型号高负载链轮冷处理后出现裂纹为案例，通过宏观观察、应力分析、材料成分分析、金相分析、硬度梯度检测及碳浓度剥层分析，推断出链轮失效的开裂特征，深入分析了链轮失效的原因，提出了合理的改进和预防措施。

关键词：链轮裂纹；应力分析；残留奥氏体；冷处理；碳化物

1　序言

近期，一批深层渗碳采煤机链轮在表面强化抛丸后，发现链轮齿顶、齿面处产生裂纹，造成严重的质量事故，为此进行失效分析，寻找问题原因。

链轮材质为18Cr2Ni4WA钢，详细热处理工艺过程如图1所示。经宏观观察、应力分析、材料成分分析、金相分析、硬度梯度检测以及碳浓度剥层分析，确定了链轮裂纹的开裂特征，并对失效原因进行了总结分析。

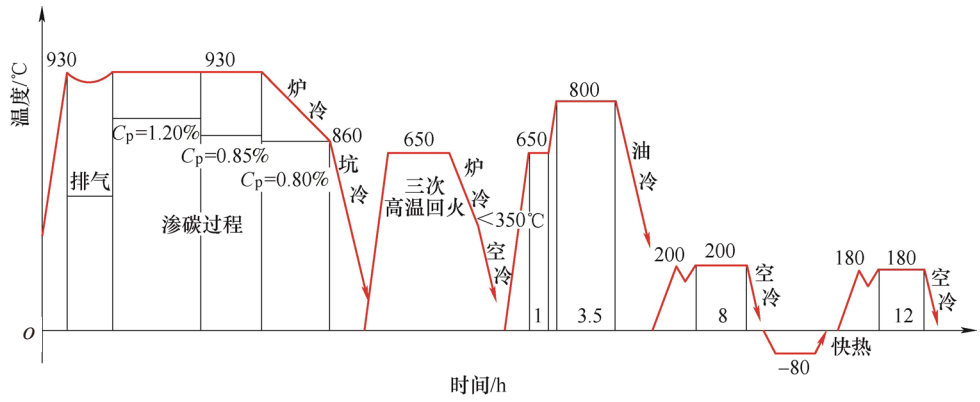
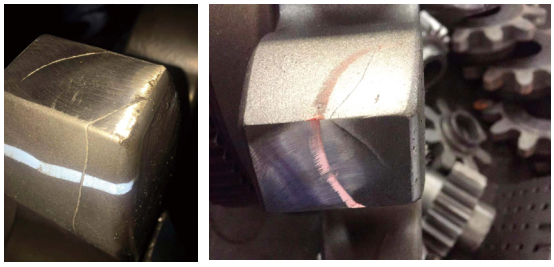


图1　热处理工艺过程

2　试验过程与结果

2.1　宏观观察

链轮开裂的宏观形貌如图2所示，开裂位置位于齿顶端楞处，呈八字形貌；裂纹宏观断口形貌如图3所示，各断口呈一定的金属光泽，心部有一较小区域可见光亮的金属刻面，且中心处有三条裂纹交汇集中点。



a）链轮1　　b）链轮2

图2　宏观形貌

2.2　应力分析

为研究裂纹工件的应力状况，对工件裂纹处、附近无裂纹处及正常链轮齿处进行了残余应力检测，采用X射线衍射仪检测残余应力数据如下。

1）裂纹区域两点：－145MPa、－142MPa。

2）无裂纹的正常区域三点：－138MPa、－28MPa、－135MPa。

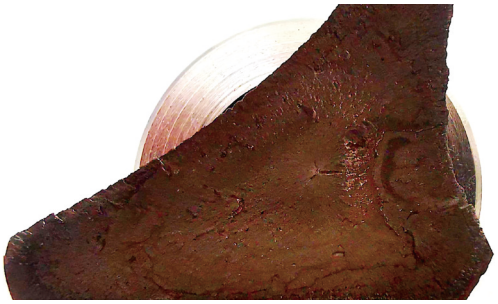


图3　裂纹宏观断口形貌

3）正常链轮齿处四点：－138MPa、－150MPa、－148MPa、－141MPa。

2.3　材料成分分析

试验样品为链轮失效件，化学成分见表1，由Olmypus型直读光谱仪测定。对比GB/T 3077—2015《合金结构钢》规定的18Cr2Ni4WA钢化学成分，失效链轮样品的化学成分不符合标准技术要求，Mo元素含量超标。

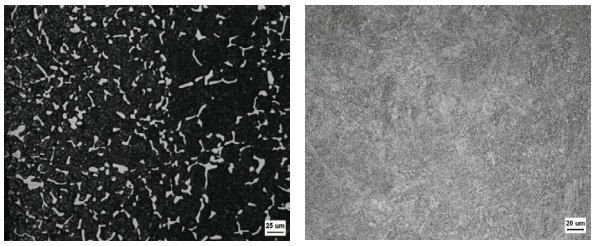
表1　18Cr2Ni4WA钢试样的化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	W	Mo
技术要求	0.13~0.19	0.17~0.37	0.30~0.60	≤0.030	≤0.030	1.35~1.65	4.00~4.50	0.08~1.20	≤0.10
实测	0.18	0.25	0.45	0.012	0.016	1.56	4.02	0.96	0.20

2.4　金相组织和硬度分析

试验样品为链轮失效件，利用钼丝线切割方法截取链轮失效件特征部位用于组织分析；试验样品依次用240~1200目（0.063~0.0021mm）的SiC砂纸进行研磨和抛光，抛光后的样品用4%的硝酸乙醇溶液擦拭腐蚀，应用Olympus GX71金相显微镜进行观察；表面硬度在HRD165洛氏硬度计上进行检测，洛氏硬度计的加载力为1471N，加载时间15s；显微硬度采用EM-1500L显微硬度计系统进行测试，显微硬度计加载力为9.8N，加载时间10s。

使用金相显微镜观察链轮样品的渗碳层、心部金相组织，如图4所示。依据JB/T 6141.3—1992《重载齿轮 渗碳金相检验》规定进行检测。由图4可知，渗碳层碳化物为5级，存在粗大的角块状碳化物，马氏体及残留奥氏体评为1级（1~4级为正常），齿心部组织为回火板条马氏体，铁素体级别1级（1~4级为正常），心部晶粒度级别7级。



a）渗层组织（400×）　b）齿心部组织（500×）

图4　金相组织

使用显微硬度计检测试验样品的渗碳层硬度梯度，如图5所示。由图5可知，链轮的表面硬度为59.5HRC，有效硬化层深度为6.0mm。

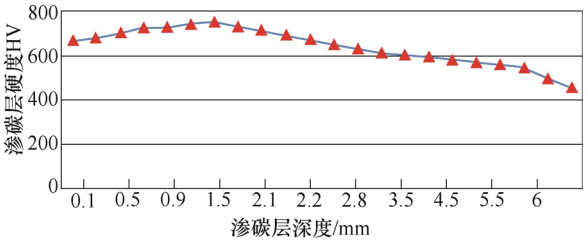


图5　渗碳层硬度与深度的关系

2.5　随炉试样碳浓度剥层和金相组织分析

链轮的随炉试样样品为ϕ60mm×150mm圆棒样，渗碳结束后利用Olmypus型直读光谱仪测定碳浓度梯度（见图6），并对随炉试样采用Olympus GX71金相显微镜进行观察，如图7所示。

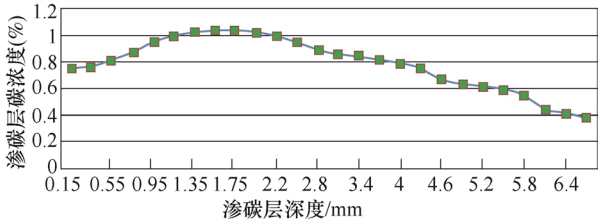


图6　渗碳层碳浓度与深度的关系



图7　次表层渗层组织（400×）

由图6可知，工件表面w_C在0.80%左右，次表层渗层碳浓度在1.00%左右，最大可达1.02%。

依据JB/T 6141.3—1992《重载齿轮 渗碳金相检验》进行检测，由图7可知，马氏体及残留奥氏体6级，组织为粗针状回火马氏体＋55%残留奥氏体。

3 分析和讨论

3.1 渗层碳浓度的影响

18Cr2Ni4WA钢经渗碳后，渗碳层和心部含碳量有很大差别，表层w_C约为0.80%，次表层w_C为1.02%，而心部含碳量为原始含量，根据司替海-海莱司公式

Ms=520－320C－45Mn－30Cr－20（Ni+Mo）－5（Cu+Si）（℃）

可估算出18Cr2Ni4WA材料渗碳前后表层、次表层以及心部的Ms点分别为110.8℃、40.4℃、309.2℃。

通过科学理论计算和图7实际金相组织特征分析，证明在一定的冷却速度下，随着含碳量增加，Ms点降低，造成残留奥氏体含量增加。由图8可知，当w_C超过0.80%后，随残留奥氏体含量的增加硬度降低。硬度下降不符合质量要求，需进一步通过淬火后的冷处理来提高硬度。

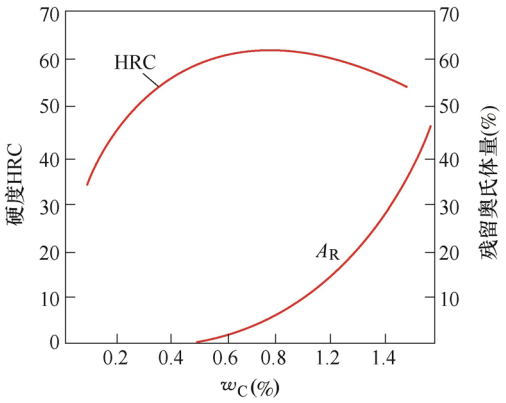


图8 含碳量对淬火钢硬度的影响

3.2 冷处理的影响

徐祖耀院士在其经典著作《马氏体相变与马氏体》中提到马氏体转变的几种方式，其中一种是马氏体变温形成，即马氏体的数量只是温度的函数；另一种是马氏体等温形成，即马氏体的数量依赖于时间。大多数钢种在Ms点以下，马氏体形成数量只决定于温度而不依赖于时间称为变温或非等温形成[1]。

冷处理过程其实就是一个变温过程，链轮在冷处理过程中，其温度转变为一梯度变化，转变过程也是一连续转变，类似于连续冷却过程即淬火过程的延续。冷处理的根本目的就是为残留奥氏体转变提供驱动力，促进其进一步转变为淬火马氏体组织；对于渗碳零件因其渗层含碳量梯度变化，过共析层和共析层存在较多的残留奥氏体组织，而冷处理可以促使渗碳层过共析层和共析层残留奥体转变为马氏体组织，进而提高工件硬度[2]。

由图7和碳浓度梯度分析可知，该链轮残留奥氏体含量较多，随温度梯度的变化其转变过程为由表至里连续转变；在冷处理变温过程中，表层的残留奥氏体最先开始转变，因马氏体与残留奥氏体比体积差值，造成表层体积膨胀，但此时又受到次表层牵制，其表面应力状态为压应力；而随着温度梯度逐渐变化，次表层的残留奥氏体也开始发生转变（且次表层残留奥氏体含量最多），促使次表层体积膨胀，但次表层受外层已转变渗层和内部组织的影响，次表层组织应力不能释放，即在次表层产生很大内应力，当此内应力超过材料的抗拉强度时就会产生裂纹。

3.3 应力状态的影响

通过残余应力检测，工件的裂纹区、非裂纹区、正常链轮齿处均为残余压应力，表明开裂后工件应力得到释放，最终应力表现为常规渗碳层较小压应力的基本特征，但无裂纹正常区域一处压应力却仅为－28MPa，证明此工件有较大的内应力存在，当工件的内应力呈现为拉应力、且超过该材料的抗拉强度后，就会产生裂纹。

3.4 碳化物的影响

金相组织检查显示，链轮表面渗碳层碳化物为5级，存在粗大的角块状碳化物，表面碳化物层深约0.5mm。许多文献报道，残留碳化物的不利影响在于其超过某一临界尺寸成为裂纹源，临界尺寸一般应控制在＜1μm，对高强度材料其临界尺寸应更小一些（＜0.5μm）[3]。同时碳化物割裂基体，增加齿表面的脆性，降低表面裂纹扩展因子KIC，进一步促进裂纹的发展。

3.5 化学成分对渗层含碳量的影响

一般而言，渗层含碳量多少与钢材合金种类和含量关系密切，含碳量随钢铁合金系数提高而增加，而Mo元素增加会较大地提高合金系数[4]；钢材合金系数越大，表明材料的吸碳能力越强，表面含

支承辊锻造横裂纹分析研究

杨威[1,2]，王昂[1,2]，高鑫[1,2]

1.中钢集团邢台机械轧辊有限公司　河北邢台　054000
2.轧辊材料国家重点实验室　河北邢台　054000

摘要：通过用光谱、金相及电镜检测等手段分析锻造裂纹。结果表明：钢锭表层存在过热导致脱碳层严重，是造成钢锭表面出现密集横裂纹缺陷的原因。

关键词：锻造裂纹；过热；脱碳层

1　序言

裂纹是当前影响锻造生产发展和锻件质量的突出问题，也是锻造行业所研究讨论的重点内容。随着新材质和锻造工艺的研究，锻造中的裂纹也呈现诸多不同的表现形式，如密集龟裂、纵裂及横裂纹等。2019年VC支承辊产品锻造镦粗时纵裂纹较为严重，人工清理难度大。通过对生产工艺优化，提高夹杂物控制及钢锭表面质量后裂纹得到明显改善，但锻造过程仍存在横裂纹问题。

我公司VC钢锭采用天然气加热，加热温度1240~1260℃，VC钢锭吨位较大，一般在50t以上，采用三火次锻造、第一火次冒口压钳把；第二火次墩粗、拔长；第三火次成品锻造。一般VC钢锭在第二火次拔长后，表面会出现密集的横裂纹特征，且在一侧表面较为明显，而该类裂纹在墩粗过程中不明显。第二火次拔长后，钢锭表面密集裂纹状态如

碳量也就越高。当表面含碳量达到饱和状态后，表面容易出现炭黑、碳化物超差及组织粗大等问题。因此，制定相关材料的渗碳工艺参数，需结合该材料的合金系数进行有针对性的优化。

4　结论与建议

综上所述，可得出以下结论与建议：

1）采用宏观断口观察、应力分析、热处理工艺过程分析得知，链轮开裂性质为热处理冷处理产生较大内应力和碳化物大产生的脆性断裂。

2）通过碳浓度剥层结果和金相观察分析，建议优化渗碳工艺过程，适当地降低渗碳强渗期的碳势，合理分配渗碳强渗期和扩散期时间配比，控制碳化物级别和渗碳层碳浓度。同时，优化淬火冷却参数，适当降低淬火温度，提高淬火冷却速度，减少残留奥氏体数量。

3）通过冷处理过程分析研究，建议控制冷却速度，尽可能确保链轮过共析层和共析层转变缓慢地同时进行，建立薄壳淬火力学模型，促使表面为压应力。另外，适当延长冷处理后低温回火时间或对其进行多次低温回火，进一步减少工件内应力。

4）根据化学成分分析和钢铁合金系数对渗层组织、碳化物的影响，应严格控制原材料的化学成分符合GB/T 3077—2015技术要求，防止某一元素对渗碳过程产生不良结果。

参考文献：

[1] 朱瑞芳，刘永刚.冷处理和深冷处理在渗碳齿轮件中的应用[J].金属热处理，2020（6）：281-283.

[2] 周晓红，朱科.深冷处理对18Cr2Ni4WA渗碳淬火组织和性能的影响[J].热加工工艺，2020（12）：147-149.

[3] 江锡堂.影响渗碳齿轮寿命的因素[J].金属热处理，1984（4）：10-17.

[4] 高金柱.新型高合金齿轮渗碳钢17Cr2Ni2Mo热处理工艺特性研究[D].北京：机械科学研究总院，2011：42.

MW 20210718