

锯齿开裂的原因分析及改进措施

■ 郝少祥, 任波

摘要: 锯齿开裂源于锯齿组织中存在偏析带缺陷组织且沿圆周分布, 使锯齿材料呈现各向异性, 径向承载能力低于周向承载能力; 冲压产生的径向拉应力启动缺陷组织中的裂纹源, 裂纹扩展导致锯齿开裂。改进措施: 一是改善组织后再冲齿, 二是改变锯齿加工方法。

关键词: 锯齿裂纹; 裂纹分析; 改进措施

河南某工具厂生产的锯片系3mm厚的65Mn钢冷轧薄板经切割下料→粗平→钻中心孔→钻工艺孔→粗车→铣水口槽→粗平→冲齿→热处理→粗平→粗磨→复平→精磨→精平→滚压→倒角等工序而成的。近期生产的锯片在冲齿工序中出现部分锯齿开裂, 致使锯片废品数量猛增, 生产不得不暂时停顿。为此, 受厂家之托, 对锯齿开裂的原因进行分析, 并提出针对性改进措施。

1. 锯齿开裂的原因分析

(1) 开裂锯齿成分检测 附表为开裂锯齿与正常锯齿的成分检测结果。对比国家GB/T1222—2007标准, 锯齿元素含量都在国家规定范围内, 成分都

符合国家标准, 仅开裂锯齿的C、Mn元素含量接近上限, 且略高于正常锯齿。这表明锯片锯齿部位有成分差异, 存在成分不均匀现象。

(2) 开裂锯齿金相组织观察 对开裂的锯齿(见图1箭头所指), 作金相组织检查, 图2为开裂锯齿的金相组织。

从图2中可知, 裂纹两侧对应位置均存在片状珠光体组织, 在片状珠光体组织附近存在偏析带, 其余组织为球状珠光体组

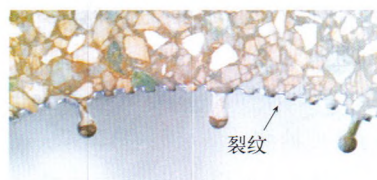


图1 开裂的锯齿



图2 带有裂纹的锯齿的金相组织

锯齿的化学成分(质量分数) (%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
开裂齿含量	0.68	0.28	1.12	0.024	0.022	0.14	0.03	0.04
正常齿含量	0.64	0.26	1.05	0.024	0.022	0.14	0.03	0.04
GB/T1222—2007	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.25	≤0.25

压, 并且锻件内部大块的夹杂物以及基体强度低。内齿齿根较低的硬度与硬度较高的外齿齿顶在啮合传动过程中不断的挤压摩擦是产生裂纹并不断扩展的主要破

坏因素。

综合上述分析, 基体强度低、非金属夹杂严重、齿侧下部及根部无淬硬层, 是工件早期断裂的主要原因。

作者简介: 杨晓红、张建, 泰尔重工股份有限公司。

MW 20170619

织。组织中出现球状珠光体乃是钢板冷轧前球化退火处理获得的正常组织，利于板材冷轧。偏析带是结晶时形成了树枝晶经热轧所致^[1]，球化退火未能予以消除，属缺陷组织。文献[2]指出，65Mn钢中Mn元素降低钢的熔点，在65Mn钢凝固过程中，随温度下降，剩余钢液内的C、Mn含量会相对增加，从而降低钢液的凝固温度，使钢液中的成分扩散速度减慢，这样会形成枝晶偏析。在枝晶间C、Mn含量高，最后热轧过程中，树枝晶被拉长、破碎，形成偏析带，会恶化钢的力学性能，使钢呈现各向异性^[3]。65Mn钢带中偏析带严重时还使压力加工件破裂^[4]。片状珠光体则是球化退火时在偏析带附近出现贫碳区所致，随偏析带走向分布^[5]，也属缺陷组织。片状珠光体组织出现也不利于板材的冷轧，因为粗大的渗碳体片在冷轧过程中易断裂，以此形成裂纹源，导致板材开裂或产生裂纹^[6]。

图2显示，裂纹两侧对应位置均存在片状珠光体组织，表明裂纹穿过片状珠光体组织区域，据此推测裂纹源自片状珠光体组织区域。

图1显示，锯齿上裂纹基本上沿圆周方向分布，这表明缺陷组织的分布也基本上沿着齿部的圆周方向。缺陷组织这样的分布显然不利于锯片冲齿加工，因为偏析带及其附近片状珠光体组织在齿部沿圆周方向分布，将使锯齿部位材料的力学性能呈现各向异性，即沿圆周方向可以承受较大载荷，而沿径向方向仅能承受

较小的载荷。冲齿时，冲齿机的冲头沿锯片外圆下压材料，使周边材料承受较大的拉应力，尤其是径向拉应力有可能使处于齿部且沿圆周分布的缺陷组织诱发裂纹，导致齿部开裂。

(3) 开裂锯齿扫描电镜组织形貌观察 图3为开裂锯齿裂纹附近扫描电镜组织形貌。从图3得知，除正常球状珠光体外，有偏析带和片状珠光体等缺陷组织。对片状珠光体组织区域进行扫描，如图4所示。从图4可知，片状珠光体中的渗碳体片出现断裂，这表明渗碳体片断裂处应为锯齿开裂的裂纹源。冲齿时，处于齿部且沿圆周分布的偏析带及其附近片状珠光体组织承受巨大的径向拉应力作用，因缺陷组织强度低，渗碳体片断裂处迅速形成应力集中，结果使周边的组织产生微裂纹，并在拉应力作用下迅速扩展，穿越片状珠光体区域，沿着偏析带走向蔓延至偏析带区域及周边，最终导致锯齿沿圆周方向开裂。

(4) 开裂锯齿断口扫描电镜组织形貌观察 图5为断口扫描电镜组织形貌。从图5可知，解理台阶边缘是等轴韧窝，表明断口应出现于塑脆相相间的两相区。解理台阶呈现扇形旋涡状，表明裂纹源于此处，扩展至周边。等轴韧窝反映了断口是在正应力作用下形成的^[7]。

(5) 冲齿工序分析 冲齿是将锯片两个水口槽之间部分在特制冲齿机上冲出齿来，目的是增加与镶嵌硬质合金块的连接强度。冲齿时，冲头下压板材，受

压板材经历弹性变形、塑性变形和断裂分离三个阶段^[8]。在前两个阶段，受压板材都对周围板材产生拉曳作用，周围板材将受到拉应力作用，在锯齿顶端将受到径向拉应力作用。当锯齿中存在缺陷组织，且沿圆周方向分布，则在径向拉应力作用下，片状珠光体区域渗碳体片断裂处首先产生应力集中，继而萌生裂纹并在拉应力作用下迅速扩展贯穿整个片状珠光体区域，紧接着沿偏析带走向蔓延致偏析带区域及周边，最终导致锯齿开裂。

综上所述，锯齿成分不均匀源于其组织中存在偏析带缺陷组

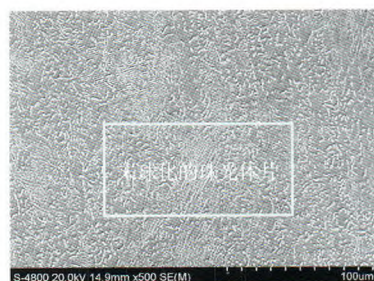


图3 裂纹附近的扫描电镜组织形貌



图4 片状珠光体区域扫描电镜组织形貌



图5 裂纹断口形貌

织,缺陷组织沿圆周分布,致使锯齿部位的力学性能呈现各向异性。冲齿时在拉应力作用下偏析带附近片状珠光体区域渗碳体片断裂处萌生裂纹,并迅速扩展贯穿整个片状珠光体区域及周边区域,最终导致锯齿开裂。

2. 改进措施

基于上述分析,改进措施有两个:一是改善内部组织后再冲齿,二是改变锯齿加工方法。

(1) 改善内部组织后再冲齿 就是利用热处理消除缺陷组织,获得适合冲压的理想组织后再冲齿。具体做法:将锯片先经扩散退火($900^{\circ}\text{C} \times 8\text{h}$ 、炉冷),再经球化退火($760^{\circ}\text{C} \times 1\text{h} \rightarrow 700^{\circ}\text{C} \times 4\text{h}$ 等温、炉冷至 550°C 出炉空冷),最后冲齿。扩散退火的目的是均匀成分和均匀组织,减少带状偏析和消除片状珠光体,消除潜在裂纹源隐患。扩散退火时温度加热至 900°C ,是为了获得单一、成分均匀的奥氏体组织,加热温度太高,虽利于成分扩散但易使组织粗大,加热温度太低,虽避免组织粗大但不利于成分扩散。球化退火的目的是获得球状珠光体组织,为冲齿做好组织准备。文献^[9]指出,65Mn钢经球化退火后,可获得球状珠光体,宜于带钢冷轧和冲压成形,减少不均变形和开裂。球化退火时温度加热至 760°C ,是获得铁素体和奥氏体两相组织,在 700°C 等温,使奥氏体分解为共析铁素体和共析渗碳体,共析铁素体与原始铁素体融合成

一体,共析渗碳体聚集成球状渗碳体,形成球状珠光体。图6为采用该措施生产的锯片齿部金相组织。从图6可知,球状珠光体比较理想,没有看到片状珠光体,偏析带已得到改善。现场反馈也没发现锯齿开裂现象。

(2) 改变锯齿加工方法 就是在不改变锯齿内部组织的前提下,锯齿加工由冲压加工方法改为切削加工方法,目的是防止锯齿加工时产生过大的拉应力而使锯齿开裂。具体做法:锯片不经扩散退火和球化退火直接在铣床或线切割机床上加工出齿部。



图6 锯片经扩散退火、球化退火后的组织

3. 结语

锯齿开裂源于齿部组织中存在偏析带缺陷组织且沿圆周分布,使锯齿力学性能出现各向异性,锯齿径向承载能力低于周向承载能力。冲压产生的拉应力启动缺陷组织内的裂纹源,裂纹扩展导致锯齿开裂。改进措施:一是改善内部组织后再冲齿,二是改变锯齿加工方法。

参考文献

[1] 肖年根,杜家恩,袁传泉.65Mn钢带断裂原因分

析[J].江西冶金,2012,32(4):5-6.

- [2] 孙继兵,李国彬,李桂云,等.65Mn钢圆锯片基体的热处理[J].金属热处理,1999,24(11):17-19.
- [3] 陈景浒,揭晓华,毛新平.65Mn钢圆锯片淬火硬度不均匀的原因分析[J].金属热处理,2011,36(10):125-126.
- [4] 黄海玲,崇鹏.带钢边部裂纹原因分析[J].鄂钢科技,2007,33(3):3-4.
- [5] 田压强,张宏军,宋进英,等.成分及偏析对65Mn钢热处理后组织性能的影响[J].热加工工艺,2015,44(18):28-29.
- [6] 孙晓燕,席守谋,张建国.65Mn钢带断裂失效分析[J].热加工工艺,2005,34(9):64-65.
- [7] 钟群鹏,赵子华.断口学[M].北京:高等教育出版社,2006:146-156.
- [8] 邓文英,郭晓鹏.金属工艺学[M].北京:高等教育出版社,2008:128-129.
- [9] 元伟伟.生产工艺对65Mn冷轧钢带组织性能的影响[J].山东冶金,2014,36(6):17-19.

作者简介:郝少祥、任波,河南工程学院机械工程学院。

MW 20170502