

46MnVS5非调质钢胀断连杆 掉渣原因分析及改进

李翔

中天钢铁集团有限公司 江苏常州 213011

摘要：用户在使用46MnVS5胀断连杆进行胀断加工后发现胀断处表面出现掉渣现象。采用宏观检验、化学成分分析及金相检验等方法对掉渣产生的原因进行了分析。结果表明：46MnVS5连杆胀断区域表面因晶粒大小不一致导致组织不均匀，连杆表面不同区域的断裂脆性不一致，导致在胀断过程中裂纹扩展速度和方向不稳定。在胀断加工时裂纹从内表面切割线处向外表面扩展，到外表面时因断裂脆性不一致导致裂纹扩展速度也不一致，进而产生向其他方向延伸的二次开裂裂纹，这种与主裂纹不在一个平面的二次开裂裂纹扩展到与主裂纹汇合时就会产生断面不平甚至掉渣现象。

关键词：胀断连杆；掉渣；晶粒；裂纹

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.07.010

随着环保成为现代工业发展的主题之一，汽车轻量化、绿色化的设计越来越受到人们的重视，非调质钢“绿色钢材”和胀断加工技术在高品质汽车发动机连杆上的应用已经成为发动机连杆生产的趋势^[1-4]。连杆的工作环境恶劣，承受载荷复杂，且随着内燃机热效率的提升及降低排放量的要求，连杆的设计制造向着轻量化、高强度以及耐疲劳的方向发展，这就对材料的设计和工艺提出了极高的要求^[5-8]。

46MnVS5制造的胀断连杆，具体加工工艺为：粗磨→钻孔→清洗→预制裂解槽→连杆有控制断裂（胀断）→断裂连杆装配螺栓→精整→精磨→清洗→终检。

用户在使用46MnVS5胀断连杆进行胀断加工后发现胀断处表面出现掉渣现象。采用宏观检验、化学成分分析及金相检验等方法对掉渣产生的原因进行了分析。

理化检验

1.宏观检验

46MnVS5钢连杆胀断处掉渣样宏观形貌及连杆大头胀断处外表面掉渣部位宏观形貌如图1所示，其中箭头所指为胀断处掉渣部位。

掉渣处位于胀断面螺纹孔外侧的纵向凸起处及过



图1 掉渣样宏观形貌

渡区外表面，为一处长条形孔洞，把连杆大头胀断处打开后发现，断裂源为大头内壁表面的预制裂解槽处，然后开裂向外扩展，最终在螺纹孔外侧的纵向凸起处断裂，掉渣即发生在此终断区表面。终断区断面很不平整，起伏较大，掉渣处尤为严重，断裂面未发现其他

冶金缺陷，连杆大头胀断处打开后断面宏观形貌如图2所示，其中终断区断面粗糙不齐。

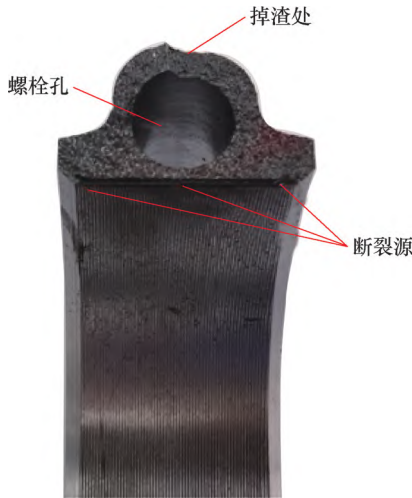


图2 断面宏观形貌

2.化学成分分析

采用德国OBLF750型直读光谱仪，对连杆掉渣样进行化学成分分析，分析结果见表1。

表1 连杆掉渣样的化学成分 (质量分数：%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V
连杆掉渣样实测值	0.46	0.55	1.23	0.014	0.048	0.21	0.13	0.146

3.金相检验

取连杆大头胀断处掉渣部位横向磨制后检验，发现螺纹孔外侧的纵向凸起处显微组织为珠光体和沿原奥氏体晶界分布的铁素体，此处晶粒大小不一且个别晶粒较粗大，存在明显的混晶现象，表面脱碳层深度为0.20mm左右，掉渣处一侧凸起处及过渡区附近表面

组织微观形貌如图3所示。

而另一侧未掉渣螺纹孔外侧纵向凸起处表面组织微观形貌组织为珠光体和沿原奥氏体晶界分布的铁素体，如图4所示，此处晶粒均匀，表面脱碳层深度为0.25mm左右。连杆基体组织为珠光体和网状铁素体。

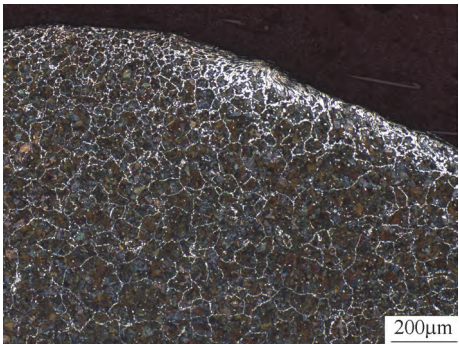


图3 表面组织微观形貌

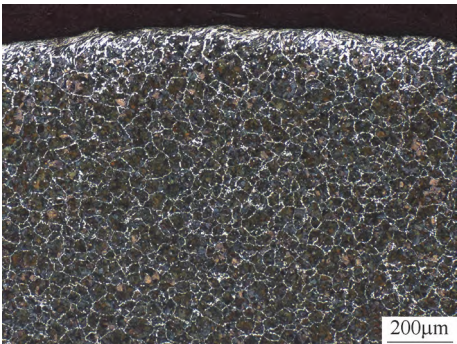


图4 另一侧表面组织微观形貌

分析判断

1. 化学成分

化学成分分析无异常，说明46MnVS5钢连杆胀断处材料物理化学特征正常。

2. 宏观检验

宏观检验表明，连杆大头胀断处掉渣发生在胀断面螺纹孔外侧的纵向凸起处及过渡区外表面，为一处长条形孔洞。把连杆胀断处打开后发现，断裂源为大头内壁表面的切割线处，然后开裂向外扩展，最终在螺纹孔外侧的纵向凸起处表面断裂，掉渣即发生在此终断区表面。终断区断面很不平整，起伏较大，掉渣处尤为严重，断裂面未发现其它冶金缺陷。以上现象说明连杆掉渣发生于终断区外表面，即螺纹孔外表面的纵向凸起处与过渡区表面。

3. 金相检验

金相检验分析，螺纹孔外侧的纵向凸起处显微组织为珠光体和沿原奥氏体晶界分布的铁素体，此处晶粒大小不一且个别晶粒较为粗大，存在明显的混晶现象，表面脱碳层深度为0.20mm左右；而另一侧未掉渣螺纹孔外侧的纵向凸起处显微组织为珠光体和沿原奥氏体晶界分布的铁素体，此处晶粒均匀，表面脱碳层深度为0.25mm左右。连杆基体组织为珠光体+网状铁素体，为连杆正常组织。

综合分析，连杆胀断过程中首先向连杆施加垂直于断裂面的外加载荷，在裂解槽处形成高应力集中，萌发初始微裂纹。当外加载荷达到某一临界值时，初始裂纹沿螺纹孔两侧快速向后扩展，发生脆性断裂，裂纹扩展至末端后两侧裂纹相遇^[9]。

结语

本文连杆胀断区域表面因晶粒大小不一致导致组织不均匀，连杆表面不同区域的断裂脆性不一致，导致在胀断过程中裂纹扩展速度和方向不稳定。在胀断加工时裂纹从内表面切割线处向外表面扩展，到外表面时因断裂脆性不一致导致裂纹扩展速度也不一致，进而产生向其他方向延伸的二次开裂裂纹，这种与主裂纹不在一个平面的二次开裂裂纹扩展到与主裂纹汇

合时就会产生断面不平甚至掉渣现象。

1) 46MnVS5钢连杆大头胀断处出现掉渣的主要原因因为材料表面存在的混晶组织有关。

2) 通过优化加热工艺后（均匀加热，避免局部过热、合理保温时间保证充分奥氏体化但不过长等），均匀了组织，掉渣问题得到了彻底解决。

参考文献：

- [1] 刘赞丰，张传友，王冠.汽车发动机胀断连杆用中碳非调质钢46MnVS5的应用现状与发展 [J].汽车工艺与材料，2022，397（1）：38-42.
- [2] Zhang X Z. Chen Q F. Xiong Y Z. et al. Fracture of high carbon microalloyed steel bars used for fracture splitting con-rods [J]. Advanced Materials Research, 2012（535）：561-565.
- [3] 李晓辉，张朝磊，李戡，等. 国产非调质钢36MnVS4连杆胀断缺陷分析[J]. 塑性工程学报，2018，25（1）：151-155.
- [4] 屈小波，安金敏，张永奇，等. 36MnVS4 非调质钢胀断连杆的胀断缺陷分析[J]. 锻压技术，2024，49（9）：239-245.
- [5] 张希明. 连杆裂解加工主要缺陷及其许用尺寸计算方法初探[D]. 长春：吉林大学，2014.
- [6] 谷净巍，姚卫国. 发动机连杆裂解工艺与装备[J]. 制造技术与机床，2016（11）：103-105.
- [7] 杨宏宇. 连杆断裂剖分过程数值及主要裂解缺陷分析[D]. 长春：吉林大学，2011.
- [8] 黄瑞，刘湘江，黄宗泽. 非调质钢46MnVS5汽车发动机连杆胀断缺陷分析[J]. 宝钢技术，2023（3）：29-33.
- [9] 李杰，徐翔宇，刘增平，等. C70S6钢胀断连杆掉渣缺陷的分析[J]. 热加工工艺，2024，53（13）：142-146. **AUTO1950**

《汽车工艺师》投稿网址：

<http://www.auto1950.com/>



详情请扫二维码