

冷激铸铁气门挺柱火焰淬火裂纹原因分析及对策

徐 焱 赵 瑞

北京天玛智控科技股份有限公司 北京 100013

摘 要：冷激铸铁用做发动机中的凸轮轴和气门挺柱的很多，本文作者对某发动机部件加工厂一冷激铸铁气门挺柱端面采用火焰淬火，火焰淬火后经常在个别淬火面出现裂纹的问题，根据出现裂纹的特点，经材质、工艺分析，找到产生裂纹的根本原因是加工端面的R角过渡不好，火焰淬火时加热不当产生应力叠加超过材料的断裂极限所致。经过改进R角的控制和火焰热处理工艺调整，彻底杜绝了挺柱裂纹问题，其对策结果可供适用单位参考。

关键词：冷激铸铁；淬火裂纹；氮化；应力集中

引 言：

2009年有关资料统计我国铸件连续多年成为世间第一铸件生产国，各种铸铁将在一定范围内用于汽车、内燃机等零件。我国铸件将比其它工业部门较低的速度向前发展，影响因素：1. 由于铸造质量的提高及其功能质量的降低因而使铸件产量下降。2. 轻合金铸件占比例，特别是汽车工业中的比例将有所提高。3. 高性能的工程塑料将取代某些铸铁件。4. 冲压、焊接件将取代某些铸铁件。5. 能源供应的限制。

铸铁工作者在着眼于提高铸件产量的同时，要着眼于铸件提高和能耗、材耗的降低。诚然市场的全球化我国铸件的出口将会有所增加，因此，总铸件产量将会维持不变或略有增加。

激冷铸铁(Chilled Cast Iron)是铸铁的一种，根据冷却速度的不同可以分为半冷铸铁和激冷铸铁。通过快速冷却获得细晶组织，完成马氏体相变，从而提高硬度，增加耐磨性。冷激铸铁由于其硬度高，硬度落差小及良好的抗热裂性，加之热处理工艺简单在机械制造中得到广泛的应用。铸造零件是机器中的重要组成部分也是主要消耗部件，铸件广泛用于机械制造业各个领域。目前现状无论是铸件制造技术或是整体性能国外均优于国内。发展趋势是：提高合金化程度改善碳化物的形态、铸态组织量等应用研究；零件使用安全及企业的生产效率经济效益。

但是，提高硬度的耐磨材料都是脆性材料，其韧性较低，因此机械零件具有一定的硬度又具有一定的韧性，耐磨性减少消耗是我们追求的目标。

本文针对某制造汽车专业加工气门挺柱公司，采用较为先进的冷激材料，为了提高工作部位的耐磨性采用二次火焰淬火，该公司近期的气门挺柱火焰淬火后约12-15%左右出现不同程度的裂纹如图1、图2、所示。前期认为是铸造质量引起，但铸造单位同炉批供应其它厂家没有发现此类裂纹现象，因生产数量较大，已经造成很大的经济损失。引起公司有人员的重视，该公司按照解决质量问题“三不放过”的原则，对工艺路线涉及过程逐一进行排查，严格工艺执行情况，发现在火焰淬火过程有个别淬火面有发白现象，如图3所示。判定为二次加工过程的倒角有淬火过热或过烧现象，于是重点针对此项内容做了控制，重点将火焰淬火端的45°倒角改圆角R3的改进并且再现验证，火焰淬火端的倒角改圆角后效果最为明显，即主要原因找到采取措施有效，征得用户同意，修改图纸问题得以解决。

项目和编号

机械加工过程中关键技术因素研究及分析 2022TM003_J1

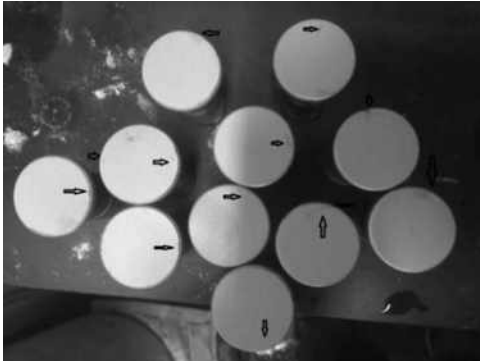


图1 浸煤油喷干砂探伤箭头所示裂纹



图3 火焰淬火



图2 裂纹在激冷层



图4 倒角改圆弧

表1 主要化学成分

取样	主要化学成分											
	C	Si	P	S	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
铸件1 (氮化前)	-	1.41	0.025	0.085	0.035	0.025	0.514	0.835	0.193	0.649	0.410	0.015
铸件2 (氮化后)	-	1.72	0.038	0.077	0.035	-	0.418	0.862	0.167	0.168	0.545	-

1. 气门挺柱主要技术要求

1.1 工艺路线：

铸造—机械加工—氮化—机械加工—火焰淬火—精加工

1.2 热处理技术要求：

冷硬层5-15mm，硬度51-61HRC，心部硬度187.5--230HBW。

氮化层深度（有效硬度法）：0.05-0.10mm，白亮层：0.005-0.0125，表面硬度：500-550HV，白亮层疏松≤3级，氮化层脆性≤2级，火焰淬火部位硬度57-67HRC。

1.3 材料化学成分：

DEUTZ GH345 Cu Cr 61主要化学成分：C 3.3-3.69%，

Si 1.7-2.7%，Mn 0.6-0.9%，P ≤ 0.25%，S ≤ 0.06，Cu 0.4-0.8，余量 Fe。

2. 检验情况

2.1 化学成分（直读光谱分析）见表1

2.2 硬度检验

表2 硬度检验

序号	检验项目	硬度值
1	基体硬度	192HB
2	氮化层表面硬度	550-570HV0.5
3	端面激冷硬度	53-55HRC
4	火焰淬火硬度	57-59HRC

2.3 金相组织

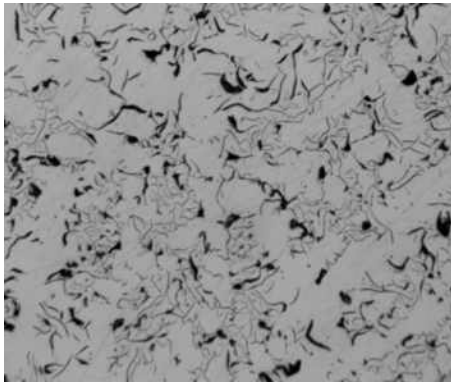


图5 石墨形态 200X

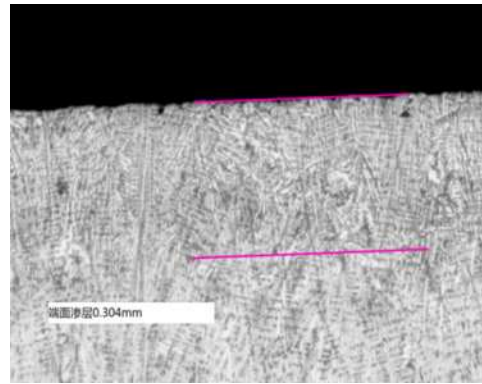


图8 冷激层组织 100X

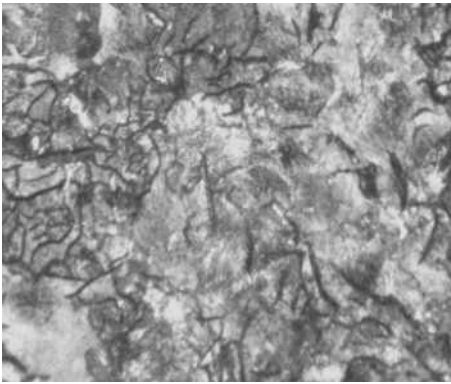


图6 基体组织 500X

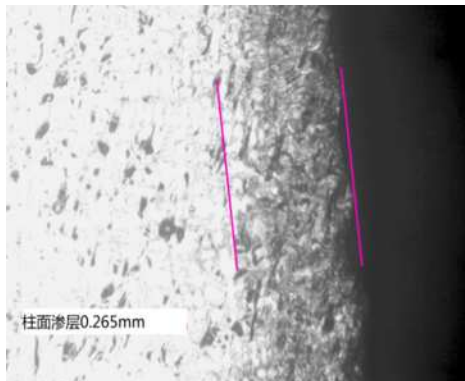


图7 氮化层深度 100X

3.原因分析

经检验气门挺柱火焰淬火有无裂纹件的化学成分、硬度、金相组织等均符合热处理技术要求。气门挺柱采用冷激合金铸铁铸造的很多，国外大多采用高压铸造静压造型及铁模覆砂等方法，国内一般采用合脂砂或震动造型等方法在砂型中气门挺柱的工作面置冷铁，浇注时只冷激合金铸铁端部，杆部及下端凹球不冷激，靠后续的氮化提高硬度增加其耐磨性能如图7。

气门挺柱是内燃机重要抗磨零件之一，气门挺柱冷激铸铁是以一定的合金成分的铁液浇入气门挺柱端部由冷铁快速冷却的型腔中，使气门挺柱端部形成2-7mm深度的（白口）组织，金相组织为：渗碳体及莱氏体+少量磷共晶+石墨如图5、图6。其硬度为HRC45-60，心部为灰口组织，硬度为220-300HB，气门挺柱顶部莱氏体是由硬而脆的片状碳化物和较软的珠光体组成，在摩擦中碳化物起骨架作用，珠光体其储油作用，该材料有较好的储油和油膜保持性。其抗擦伤性，耐磨性均较好因此它较多用于高速柴油机凸轮轴，气门挺杆。有资料介绍世界上有60%以上的高速柴油机凸轮轴，气门挺杆都用这种材料。该材料除具有优异抗磨性特点外，它还具有生产工艺简单，加工余量少等优点。

众所周知热应力和组织应力叠加后超过零件在该温度下的抗断裂强度时产生的裂纹。气门挺柱也不例外，淬火裂纹形成的原因如下：

零件的尖角、棱角、孔洞、凹槽等几何形状因素使工件各处冷速不一，组织转变不同时，局部冷速急剧，增大了淬火残留应力，从而增大了开裂的可能性。零件较薄部位淬火时马氏体先转变。较厚部位马氏体发生转变时，

体积膨胀,使较薄部位承受断裂应力,在厚薄交界处产生应力集中,在此形成淬火裂纹。淬火温度越高,奥氏体的晶粒越粗大,使钢的抗力降低,而冷却时产生应力就大,所以,火焰单面直喷加热,倒角过热必将容易引起淬火裂纹,另外,加热速度也是一个重要因素,过热,冷激铸铁碳含量偏高,火焰淬火时,由于尖角处温度高,冷却又过于激烈,容易引起开裂。气门挺柱冷激部位虽也经过氮化处理时的回火,但由于硬度高还是存在一定的应力。将火焰淬火端的45°角改为R3的圆角就是消除这个现象。使局部不产生过热,随之应力降低,裂纹不再发生。

4.对策

针对上述结果分析,采取了以下几项措施

4.1将火焰淬火端的原45°角改为R3的圆角如图4所示(因氮化后硬度增加切削产生尖角或崩角诱发火焰淬火时应力),端面倒角加工将车削加工改为磨削加工。

4.2火焰淬火温度控制800~850℃,及时在230~250℃回火,回火时间≥3.5小时。火焰淬火与回火时间间隔不超过2小时。

4.3火焰淬火时先预热至500℃左右。

4.4生产中控制化学成分中的磷共晶的方向性要求磷共晶级别。

4.5气门挺柱冷激铸铁毛坯去应力回火温度不小于550℃,时间大于5小时。

参考文献

- [1] 张伯明.铸造手册[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [2]程秀,胡树兵,黄齐文,等.无限冷激铸铁的等离子束表面合金化强化研究[C].//湖北省第十一届热处理学术年会论文集.2011:1-8.
- [3]陈国帧,肖可则,姜不居.铸造缺陷对策手册[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4]姜君,赵登川,朱吉印,等.柴油发电机主轴承螺栓断裂分析[J].失效分析与预防,2020,15(5):328-331.
- [5]王中宝.冷激铸铁凸轮轴的制造工艺[J].摩托车技术,2000,(8):10-14.
- [6]李绍宣.用激冷铸铁铸造发动机气门挺柱的探讨[J].特种铸造及有色合金,1987(03):46-48.
- [7]周生楷,董鹤松,刘映惠.激冷铸铁在内燃机零件上的应用[J].铸造,1988(04):25-28.
- [8]卢勤杰,葛辉,宁葆长.冷激铸铁凸轮轴变形的原因和

消除方法[J].现代铸铁,2008,28(4):65-69.

[9]侯学勤,陆菁.汽车发动机曲轴断裂分析[J].失效分析与预防,2020,15(2):132-136.

[10]牛恩善.淬火工艺对冷激合金铸铁挺杆金相组织的影响[J].汽车工艺,1991(05):22-23+21.

[11]马丽心,王扬,谢大纲,杨立军,刘璇.冷硬铸铁激光加热辅助切削实验研究[J].哈尔滨工业大学学报,2002(02):228-231.

[12]沈保罗,李莉,李光耀,等.激冷球铁凸轮轴的显微组织与性能[J].现代铸铁,2007,27(4):51-53.

[13]应善强,常连霞,刘柯军.冷激合金铸铁挺柱失效分析[J].汽车工艺与材料,2009(9):62-63.

[14]孙荣敏,冯树强,温宗胤,等.低镍铬无限冷硬铸铁轧辊激光表面合金化的工艺研究[J].应用激光,2009,29(6):493-496.

作者简介

徐焱(1987.3---)男,清华大学硕士研究生毕业,从事机械加工工艺研究

赵瑞(1960.8---)男,高级工程师,金属材料失效分析专家,从事金属材料及热处理,13603521397 zhaorui@tdmarco.com