内燃机气门锥面淬火开裂的分析

王忠诚，肖学林

摘要：某带底窝的马氏体耐热钢气门，进行锥面淬火后出现批量锥面开裂，进行淬硬层深度检查时，发现其深度与正常的相比深2~3mm，而裂纹均在气门盘部的底窝内与圆弧交界位置，此处为厚薄截面结合部位，该位置因淬火应力集中而开裂。经过排查找到产生的原因，并采取措施根除了该类质量问题的发生。

关键词：锥面淬火；锥面开裂；缺陷；冷却介质

内燃机气门进行锥面淬火的目的是满足其耐磨性，通常规定其锥面硬度在48HRC以上[1-3]，某型号的内燃机气门材质为整体马氏体耐热钢（X45Cr9Si3），采用六工位高频感应淬火机床进行气门的锥面淬火，该产品的技术要求为：锥面硬度550~700HV30，硬化层深度≥2.8mm，晶粒度细于8级，淬火实景如图1所示。在某天操作者发现有300余支气门锥面淬火后开裂，具体形状如图2、图3所示，可以看出该裂纹在气门的底窝与圆弧长度均较长。采用浓度为10%~15%的KR6480水溶性淬火冷却介质进行桶内喷射冷却，淬火冷却介质温度为26℃，检查高频感应淬火工艺参数正常。

图1 六工位淬火实景

图2 气门底窝裂纹

1. 原因分析

气门锥面淬火后产生淬火裂纹，该类缺陷是致命的也是绝不允许存在的，一旦出现将造成十分严重的后果，即造成发动机的早期失效，甚至会发生重大人身伤亡事故，故气门制造商在DFMEA与PFMEA设计中均要重

电压、电流、功率、频率及温度等感应参数的实时监察，实现在线监控。

3. 其他注意事项

以“新材料、新工艺、新技术、新装备”为主旨的四新理念正在一线生产企业全面推进，而市场大环境的利好趋势又进一步凸显出工厂对于新装备的投资渴求。新装备的投资又是一个系统工程，方方面面都应当考虑到。但是作为一线生产企业，与其他同行企业一样，也为目前的一些招、投、竞、中标规则的影响，在新设备投资的过程中受到一些困扰。由于常要受到低价中标游戏规则的影响，往往陷入到“找高端设备压价格，向低端设备要质量”的怪圈里。我们一线生产企业期望更加合理的招、投、竞、中标规则早日颁布实施，在生产形势利好的需求下来助力企业顺利投资购买到理想的感应热处理新装备。

作者简介：杨锴，高级工程师，东风汽车有限公司刃量具厂技术开发部。

MW 20170928

点考虑，并采取必要的预防措施。本文对出现的此批淬火裂纹的产品进行如下几个方面的分析，目的是找到其产生的原因并采取预防措施。

（1）检查气门的化学成分　对该产品的盘部采用光谱分析，检测结果见表1，其化学成分符合要求。

（2）外观与金相分析　为了分析其裂纹的特征，首先进行外部宏观部分的观察与分析，图2、图3是同一支气门底面与圆弧的裂纹形式，从图中可看出，淬火裂纹是从底窝向锥面与圆弧扩展的（通裂），在气门锥面或锥面与圆弧位置出现裂纹，这通常是批量的裂纹，其裂纹位置在淬火冷却区域，此处是截面差别较大的部位，裂纹形状基本一致。另外，从气门（端面有底窝）锥面淬火后的裂纹形式（采用淬火冷却介质冷却）可以看出，淬火深度进入了盘部底窝内，造成此处应力集中而开裂。图4、图5为其盘部底面与圆弧的裂纹形态，其形状是头粗尾细，淬火表面裂口宽，越向心部延伸越细小[4-5]，裂纹内部无氧化脱碳，为淬火裂纹，检查晶粒度在6级，不符合细于8级的工艺要求（见图6），出现局部过热倾向。

从裂纹件金相图片分析，裂纹不是淬火过烧裂纹和淬火前裂纹，是淬火后造成的裂纹，经淬火冷却后裂纹扩展。对开裂的与不开裂的两支气门进行淬硬层深度检查，具体如图7、图8所示。从图中可知，正常的气门淬火硬化层深度为4～5mm，锥面硬度为620～680HV30。非锥面开裂的气门淬火硬化层深度7mm（裂纹位于淬火过渡区附近），硬度635～647HV30。可以看出二者的差异在于硬化层深度的不同。工艺规定硬化层深度是大于2.8mm，没有上限要求。

该淬火裂纹的产品硬化层深度比正常产品深2mm，另外检查发现开裂的气门盘厚比正常的盘厚大0.3mm。

（3）气门外部形状　一同淬火的两种气门的盘部外圆是一样的，唯一区别为发生淬火开裂的气门低窝直径大，具体如图9所示，二者的具体尺寸比较见表2。可以看出二者在于当硬化层深度大于5mm后，则淬火区进入气门盘部厚薄交界处（底窝大的气门）。

（4）淬火感应器与气门锥面的间隙　因气门锥面淬火采用杆端定位，气门总长不变，盘部厚势必造成气门锥面与感应器的距离近，在加热过程中，加热深度较深，进入截面厚薄处，淬火后造成此处局部过热，淬火应力过大而开裂。图10为淬火过程中气门与夹持的夹具。

经过落实现场实际检查与判断，同时检查6个夹具的跳动情况，发现其中一个夹具（弹簧夹头）跳动大，在设备运行中，造成锥面淬火加热温度不均匀，造成硬化层过深，进入产品底窝内（底窝本来就是应力集中区），在冷却过程中因应力过大而造成气门锥面开裂。

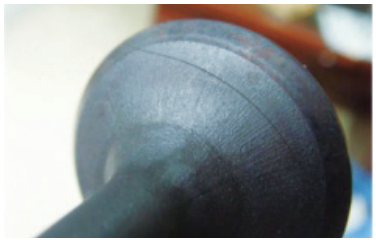

图3　气门圆弧与锥面裂纹

图4　气门盘部淬火裂纹

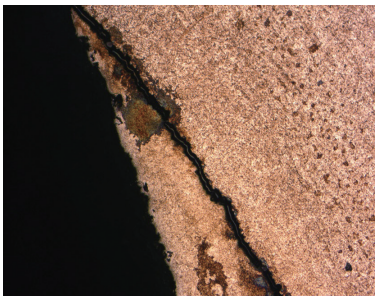

图5　气门圆弧处裂纹

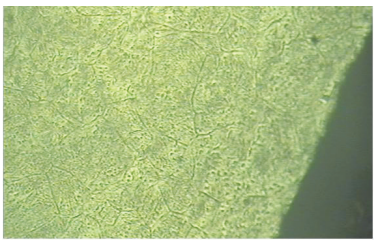

图6　淬火裂纹处晶粒度局部粗大（6级）400×

图7　正常的淬火硬化层深度

表1　气门的化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr
标准要求	0.40~0.50	2.70~3.30	≤0.60	≤0.030	≤0.040	8.80~10.00
实际检测	0.46	2.84	0.48	0.0025	0.0031	9.23

2. 措施

根据以上几个方面的分析，在气门锥面淬火过程中，要严格落实表3要求，则可有效避免此类裂纹的产生，这是在生产过程中的经验所得。另外，对于有底窝的该类气门要考虑硬化层深度有一个合理的范围，决不允许硬化层深度进入盘部底窝内，可通过首件进行验证，并确定最佳的硬化层深度。

图8 锥面淬火裂纹（上）与无裂纹（下）的硬化层深度对比

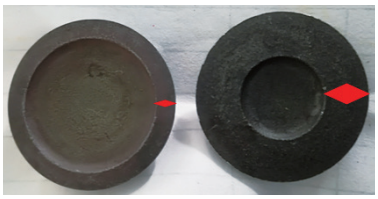

图9 两种锥面气门盘部与底窝的对比

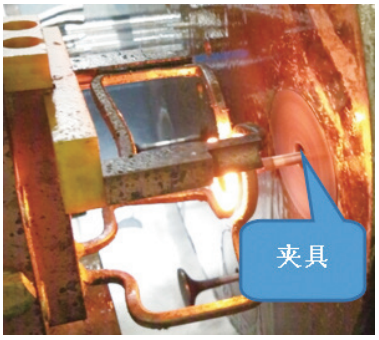

图10 加热的气门与夹持的夹具

表2 两种锥面淬火气门外部尺寸比较

项目	盘部直径/mm	低窝直径/mm	二者直径差/2（菱形长度）/mm	锥面角度/（°）	盘厚/mm	杆径/mm
A气门	34	16	9	45	4.2	6.5
B气门（产生淬火裂纹）	34	24	5	45	4.5	6.5

表3 气门锥面或圆弧淬火开裂的原因分析与预防措施[2-6]

缺陷名称	产生原因	预防措施
锥面或圆弧淬火开裂	盘部有折叠，造成淬火后沿此处开裂，延伸到锥面或圆弧上	①气门电镦时按工艺参数（包括电压、电流、油压、时间、砧子缸与顶端缸后退速度、夹持力等）进行调整 ②气门杆部无划痕，钳口定期进行更换
	加热深度进入盘部底窝，此处为应力集中区而开裂	①首件进行晶粒度与淬硬层深度的检测 ②淬硬层深度应以未进入盘部底窝内为准（金相法） ③工艺规定硬化层深度应在2.8～4.5mm
	气门与感应器相对位置不正确，加热温度不均匀或过热（或产品存在内部缺陷）	①首件进行晶粒度与淬火深度的检测 ②生产过程中进行产品质量检查 ③对弹簧夹头进行检查，跳动大则立即更换
	淬火冷却介质浓度低，冷却不良，造成冷却速度过快	每班进行浓度或折光系数的检测，符合要求后方可进行淬火处理

3. 结语

（1）根据以上的分析可知，该批气门锥面淬火产生裂纹的原因在于，局部淬火温度高而出现过热，淬火深度进入了盘部低窝内，此处为截面壁厚差最大处，淬火后产生较大的应力集中而开裂。

（2）因淬火开裂气门盘厚比正常的厚0.30mm，故感应器与气门锥面距离较近，淬硬层深度深是产生淬火开裂的原因之一。

（3）因夹持气门杆部的弹簧夹头跳动大（一个工位），也是造成局部过热、淬火深度深而产生此次淬火开裂的原因之一。

（4）产生此批产品锥面淬火开裂的原因是多种因素造成的，是各种因素综合作用的结果。

参考文献

[1] 国家质量技术监督局. 汽车发动机气门技术条件[S]. QC/T469—2002：2-3.
[2] 王忠诚，等. 内燃机气门感应淬火常见缺陷原因分析与对策[J]. 金属加工（热加工），2016（7）：26-30.
[3] 王忠诚，王东. 汽车零部件热处理实用技术[M].北京： 机械工业出版社，2013：56-57.
[4] 沈庆通，梁文林. 现代感应热处理技术[M]. 北京：机械工业出版社，2011：252-255.
[5] 王忠诚，等. 典型零件热处理工艺与规范[M]. 北京：化学工业出版社，2017：69-70.
[6] 王忠诚. 内燃机气门感应热处理技术与质量控制[J]. 金属加工（热加工），2017（1-2）：2-5.

作者简介：王忠诚、肖学林，济南沃德汽车零部件有限公司。

MW 20170926