汽车半轴法兰盘内端面开裂失效分析

金林奎，焦东风，赵建国，王春亮

【摘要】主要阐述汽车半轴产品调质处理后发现法兰盘内端面存在开裂现象，对其进行理化检测和分析的过程。

汽车半轴是重要的传动部件，使用过程中需要承受较大的交变载荷，半轴必须具备较高的强度和扭矩力。这就要求工件表层应具有较高的强度，心部具有较高的韧性，才能满足汽车半轴产品件在服役承载过程中的性能和要求。因此，选用40Cr中碳调质钢进行产品加工，并经过整体调质和中频感应淬火处理。

1. 问题描述

半轴产品的加工工艺流程为：圆钢下料→法兰盘锻造→切削粗加工→调质处理→切削精加工→中频淬火处理→磨削加工→成品入库。

18040B型汽车半轴调质件，从公司半成品仓库转入金工车间进行生产加工。在机加工过程中，发现有部分产品开裂。开裂的部位在法兰盘内端面*R*部位，距法兰外圆30mm处形成周向裂纹，裂纹长度100mm左右（见图1、图2）。该半轴的锻件坯料属库存产品，由于前期生产量大，造成了部分半轴产品积压，在半成品仓库存放了3个月之久。

2. 试验检测

在生产加工记录表中，追溯到该批产品的原材料入库批次号，查找到原材料生产炉号，以及对应的材料牌号和圆钢直径。从该批原材料上截取样块，再次进行理化检测。截取原材料样块尺寸为25mm×25mm×15mm，进行化学成分检测（见表1）。检测设备为Labspark5000精密直读火花光谱仪，检查结果表明化学成分符合材料标准要求。在原材料上截取标准样棒，进行力学性能试验（见表2）。试验结果表明，原材料的力学性能符合材料标准要求，但实测值大多在标准范围的下限。

沿半轴开裂的垂直方向取样，经过预磨抛光后浸蚀，金相显微镜观察，裂纹端部开口处，裂纹两侧有明显的脱碳层，而且全脱碳层较深（见图3）。裂纹中间部位，裂纹两侧的脱碳层更为严重，脱碳层深度达



图1 半轴失效件（实物）



图2 半轴开裂部位（实物）

表1 原材料化学成分的检查结果（质量分数） （%）

40Cr钢	C	Si	Mn	Cr	S	P
标准值	0.37～0.45	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10	≤0.035	≤0.035
实测值	0.408	0.199	0.612	0.932	0.018	0.009

表2 原材料力学性能检查结果

40Cr钢	抗拉强度σ_b/MPa	屈服强度σ_s/MPa	断后伸长率δ（%）	断面收缩率ψ（%）	冲击吸收能量/J
标准值	≥980	≥785	≥9	≥45	≥47
实测值	1120	845	12	49	51

0.50mm，全脱碳层的铁素体基体呈柱状晶分布。这种呈柱状晶组织的形成，是典型的高温氧化脱碳转变产物。可以确定，形成这种柱状晶铁素体基体脱碳层的裂纹，是在锻造过程中产生的（见图4）。

裂纹两侧的脱碳层没有随裂纹继续向前延伸，而是呈椭圆状包围在裂纹两侧。在脱碳层消失的过渡区，裂纹首先沿45°角开裂，然后沿晶扩展。这种现象是由于锻造裂纹后期的调质处理淬火时，原始锻造裂纹形成很高的淬火应力集中，淬火裂纹开始处沿45°角的最大切应力方向形成，然后沿晶继续向前扩展（见图5）。淬火裂纹的尾部尖锐，裂纹两侧无脱碳层，裂纹附近有晶间熔洞组织，这种晶间熔洞组织是低熔点硫化物熔融的孔洞。这是由于材料偏析带来局部区域合金元素贫乏，特别是Mn元素低于正常范围时，非金属夹杂硫化物以FeS的形式存在，FeS的熔点在980℃左右，1000℃以上的锻造温度极易使其熔融成孔洞（见图6）。

材料基体组织中非金属夹杂物很多，整个视场布满了各种形态的夹杂物。图片显示，浅灰色条状组织属于塑性硫化物夹杂；深灰色块状组织属于略显塑性的硅酸盐夹杂物。非金属夹杂物割断了基体组织的连续性，使材料的强度和韧性显著降低。锻造过程中较高的塑性变形产生的应力，极易沿夹杂物边缘形成应力集中产生裂纹。在锻造的高温高应力作用下，晶间结合力急剧降低，由此形成锻造开裂（见图7、图8）。

在淬火裂纹尾部的分叉部位，晶粒有整颗剥离的现象，开裂处可见沿晶界析出的浅灰色硫化物夹杂。表明锻件加热温度偏高，硫化物夹杂形成固溶，锻后缓冷过程中沿晶界析出。这种沿晶析出的非金属夹杂物，显著降低材料组织的晶间结合力，调质淬火应力使组织沿脆弱的晶界开裂（见图9）。在裂纹附近明显可见，非金属夹杂物呈长条状曲折状分布，这是硫化物夹杂沿晶界析出的典型特征（见图10）。

图3所示，裂纹开口处两侧表面都有圆弧状的凹坑，裂纹右侧表面凹坑边缘还出现圆弧状二次裂纹，裂纹左侧的脱碳层内同样存在次生的二次裂纹。进一步对试样表面进行观察，整个法兰盘内端面*R*部位表层，布满了大小不等的圆弧状的凹坑（见图11）。有些部位的凹坑粗大且深，凹坑的底部断续分布点状的黑色孔洞，黑色孔洞已经扩展成连续的二次裂纹。初步推测，这



图3 裂纹开口部位（100×）

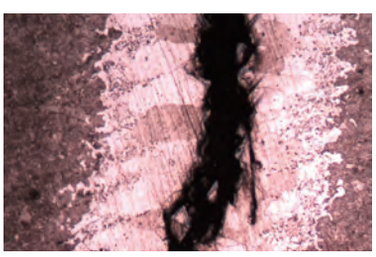

图4 裂纹中间部位（100×）

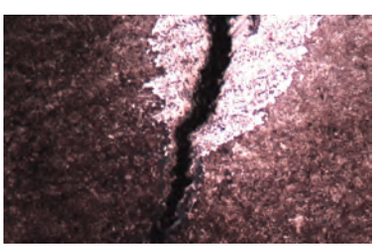

图5 裂纹扩展部位（100×）

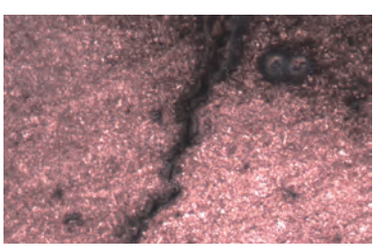

图6 淬火开裂部位（100×）

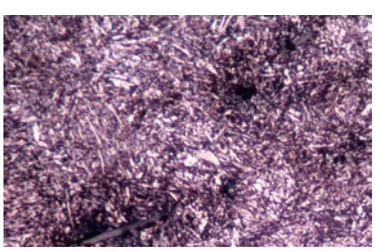

图7 非金属夹杂物（400×）

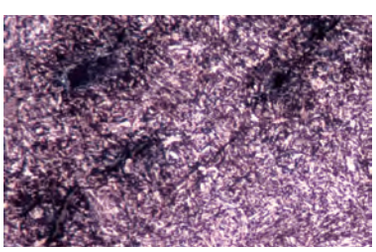

图8 非金属夹杂物（400×）

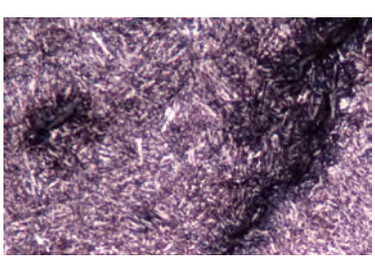

图9 夹杂沿晶析出（400×）

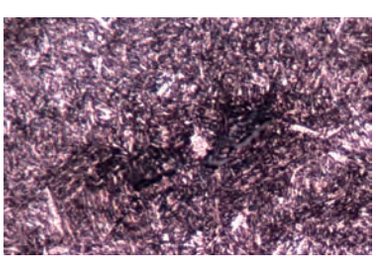

图10 夹杂沿晶析出（400×）

压缩机主轴开裂原因分析

陈炜，王晓燕，郝建国，包翠敏，林彬，曲德毅

【摘要】某公司离心压缩机S43100不锈钢主轴在热处理后台阶部分出现开裂现象，结合原材料的入厂状态、锻造工艺和热处理工艺，对其化学成分、金相组织和外观形貌等进行分析、观察对引起主轴台阶部分开裂的原因进行了讨论。结果表明，主轴开裂是在热处理过程中产生的，开裂的原因主要是由于台阶部分以直角过渡，未进行倒圆处理，在热处理过程中由于内应力过大造成开裂。

S43100型钢为一种马氏体不锈钢，具有高的耐蚀性和良好的力学性能，在工业上应用广泛。压缩机中主轴使用的材料多为40NiCrMo7、12Cr13等，但由于材料在硝酸环境中的耐蚀性不如S43100型不锈钢，因此，在硝酸环境中的主轴首选材料为S43100型不锈钢。

某公司生产的直径550mm的阶梯主轴，此材料主轴进厂后经过粗加工，然后进行正火（空冷）+淬火（油冷）+回火（油冷）+回火（空冷）处理。但是主轴在热处理完成后发现台阶部分出现裂纹，开裂工件实物见图1，台阶处断裂形式为脆性断裂，没有明显的塑性变形。本文

种圆弧状的凹坑属于非应力状态下的腐蚀坑。

3. 结论分析

汽车半轴法兰盘内端面的周向裂纹，属于锻造开裂的裂纹。裂纹产生的原因，是由于原材料非金属夹杂物过多，材料组织的强度和韧性显著降低，局部区域难以承受锻造应力，因而产生锻造裂纹。

锻造加热温度偏高，非金属硫化物夹杂发生固溶，锻后缓冷沿晶界析出形成曲折的条状组织，使锻件的强度进一步降低，脆性增大。调质淬火的应力集中，使锻造裂纹继续扩展，并沿析出的条状硫化物边缘开裂，甚至造成整颗晶粒剥离基体组织。

为了查实工件表层圆弧状凹坑形成原因，对这批产品进行跟踪调查。该半轴调质件存放仓库时间较长，整体产生锈蚀，对工件采用了酸洗的方式进行表面除锈。查阅仓库生产记录，该批产品在酸洗时突然停电，桥式起重机无法起动，仓库人员随后找来叉车将其吊出来，用自来水冲洗。由于在酸洗池浸泡时间过长，且清洗不干净，工件表面腐蚀严重，最终形成圆弧状的腐蚀坑，这种酸洗的腐蚀坑是在裂纹形成之后产生的。因此可以确定，法兰盘内端面的腐蚀坑与裂纹的产生没有任何联系。

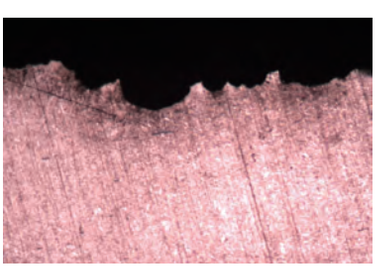

图11　酸洗腐蚀凹坑（100×）

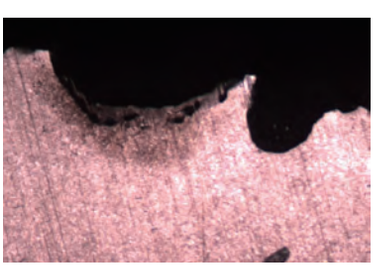

图12　酸洗腐蚀凹坑（100×）

作者简介：金林奎、赵建国、王春亮，合肥市建元机械有限责任公司；焦东风，合肥美桥汽车传动及底盘系统有限公司。

MW 20141112