

一种双向驱动刀杆失效原因分析

□ 神龙汽车有限公司/刘华 袁龙成

一种组合铣刀刀杆在使用过程中键槽底部剥裂失效。在对剥裂面宏观和微观特征观察的基础上，综合切削力分析、强度计算，材料的化学成分、金相组织、硬度等，对刀杆键槽剥裂失效的原因进行分析，提出并实施改进措施，验证改进效果。

在铣削加工中，刀杆是使用最多且重要的零件之一，主要作用是联接刀盘和主轴，将机床动力传递给刀具，完成切削加工。铣削属间断切削，受力呈周期性变化，因此，刀杆必须具备足够的刚性和强度，来保证刀具切削过程中产生的各种交变转矩和断续切削的冲击力。

在神龙汽车有限公司铸铁缸体生产线上，采用了一种双轴驱动多刀盘组合铣刀来加工五个主轴承座侧面，如图1所示。2013年采购一批新刀杆，一根使用40天。约加工1.6万个缸体时发生打刀，维修人员对机床进行检修，换装新刀杆后使用到60天约加工2.5万个缸体时又发生打刀，之后1个月又发生一起打刀，故障刀杆都是小头端一个键槽底部剥裂，如图2所示。

该刀杆设计寿命为40万件（ 2.4×10^7 次），而几次出现故障时只加工了大约2万个缸体，仅为设计寿命的1/20。出现故障的刀杆是同一批次生产的，且现象比较统一，都是小头端一个键槽底部剥

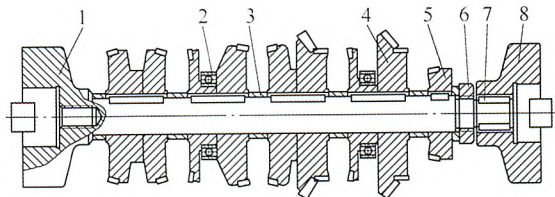


图 1

1.刀杆 2.支承轴承 3.隔套 4、5.刀盘 6.锁紧螺母 7.平键 8.右法兰



图2 故障刀杆小头端键槽底部剥裂

裂。因此主要对小头端键槽裂口进行观察，从刀杆受力、化学成分、金相组织、热处理等方面进行分析，确定故障性质和原因，提出预防改进措施，验证改进效果。

刀杆结构受力分析及强度核算

1.刀杆材质分析

刀杆材料要求为20Cr2Ni4A，表面渗碳淬火硬度（ 60 ± 2 ）HRC，

心部硬度（ 40 ± 2 ）HRC，渗碳层深0.8~1.2mm。下面是各项指标检查分析。

（1）硬度及渗碳层深。刀杆失效部位表面硬度52~56HRC，偏低；刀杆失效部位心部硬度：49HRC、51HRC和51HRC，偏高，超出上限要求；渗碳层深Ec550/HV0.5(见图3)位置1处0.9mm，位置2处1.0mm，层深合格。

（2）金相组织。表面渗碳

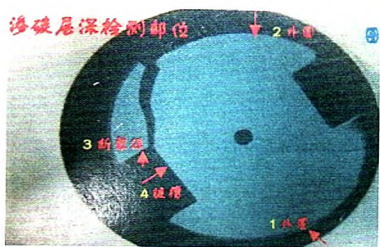


图3 渗碳层深Ec550/HV0.5

层M+A_残，心部：M，四级（见图4）。

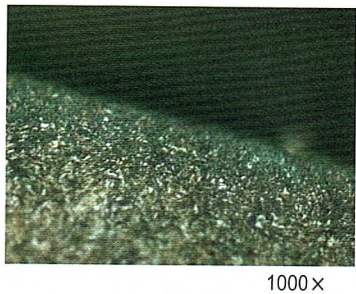


图4 金相组织

(3) 磁粉探伤未发现裂纹。

(4) 化学成分测定结果，C和Cr超标。

2.刀杆结构及受力分析

该组合铣刀刀杆左端带法兰结构与主轴联接，右端通过两个平键、法兰再与主轴联接，机床两端主轴各由1个15kW交流电动机驱动，共同带动刀具旋转。刀杆右端直径 $d=32\text{mm}$ ，键槽结构尺寸如图5所示。从图1中可以看出，此处轴径最小，键槽受力最大，强度最弱，最容易发生失效。实际失效部位也是键槽，所以下面只对键和键槽做强度校核。

假设刀杆两端电动机输出动力相等，则刀杆两端的法兰各承担1/2

切削转矩，又因②处两个平键对称分布，所以两个平键各承受总切削转矩的1/4，通过计算，刀具总切削功率28kW，刀杆承受的切削转矩为1336N·m，所以每个平键传递的转矩 $=1\,336\text{ N}\cdot\text{m} \times 1/4=334\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

由此可算出键槽侧面受到的压力 F 为：

$$F = 2\,000T/d = 2\,000 \times 334/32 = 2\,0875\text{ N}$$

式中， F 是侧面受到的压力，单位为N； T 是平键传递的转矩，单位为N·m； d 是轴径，单位为mm。

抗拉强度 $\sigma_b \geq 1\,483\text{ MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_s \geq 1\,292\text{ MPa}$ 。

3.键槽侧面挤压强度计算

各刀盘刀片错位排列不同时参与切削，减缓了冲击，因此按中等冲击载荷工况取安全系数 $n=6.67$ ，键槽许用挤压应力为：

$$[\sigma_p] = \sigma_p/n = 1\,483/6.67 = 222\text{ MPa}$$

键槽的挤压应力为：

$$\sigma_p = F/(h_l) = 20\,875/(4.7 \times 26) = 171\text{ MPa} < [\sigma_p]$$

所以键槽的挤压强度是足够的。

式中， h 是键槽工作高度，单位为mm； l 是键槽工作长度，单位为mm。

4.键剪切强度计算

仍取安全系数 $n=6.67$ ，对于45钢普通平键 $\sigma_b=600\text{ MPa}$ 。

键的许用剪切应力为：

$$[\tau] = 0.8\sigma_b/n = 0.8 \times 600/6.67$$

$$= 72\text{ MPa}$$

键的剪切应力为：

$$\tau = F/S = 20\,875 / (10 \times 26 + 3.14 \times 5 \times 5) = 62\text{ MPa} < [\tau]$$

所以键的剪切强度也是足够的。

5.体式镜和扫描镜宏观和微观分析

图6为刀杆宏观断件和断口，断口为典型的疲劳断口，宏观形貌有贝纹线。裂纹起源于键槽直角处，源区局部已氧化锈蚀，有几条清晰可见的台阶，说明为多源，源区应力集中现象严重。断口形貌为准解理（见图7和图8），裂纹扩展区新鲜，为准解理断口形貌，如图9所示。

要求键槽底部为R0.3mm圆角过渡，实际为45°倒角过渡，加重了

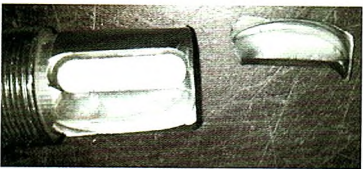


图6 刀杆宏观断件和断口

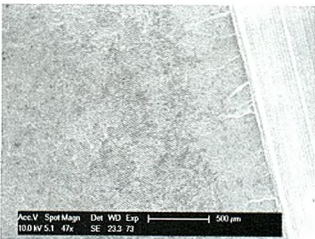


图7 断裂源区

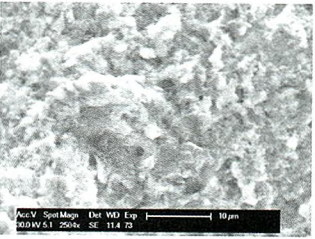


图8 源区准解理断口，局部已氧化锈蚀

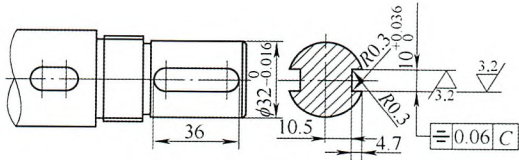
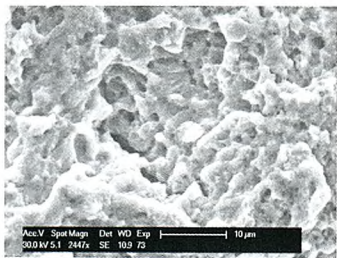


图 5

应力集中现象。



2447x

图9 裂纹扩展区的新鲜断口：准解理

解决措施

综合以上计算、检测、分析，可以确定刀杆材料20Cr2Ni4A本身具有很好的力学性能，强度能够满足设计使用要求。造成刀杆键槽破裂的主要原因有3个：第一，源

区应力集中严重加剧了疲劳源的产生。第二，刀杆的心部硬度过高，没有缓冲余地，使得疲劳性能大大降低；上述因素使裂纹从刀杆应力集中处萌生、扩展直至断裂的进程加速，造成刀杆寿命大幅降低。第三，刀杆破裂区的表面硬度低于标准要求，化学成分C和Cr超标，也是次要影响因素。

解决措施如下：

- (1) 加强进货检查，保证刀杆材料化学成分符合要求。
- (2) 规范热处理操作，保证硬度、渗碳层深、金相等各项指标合格。
- (3) 对键槽底部R0.3mm过渡，采用专用铣刀加工出过渡圆

角，减小此处应力集中。

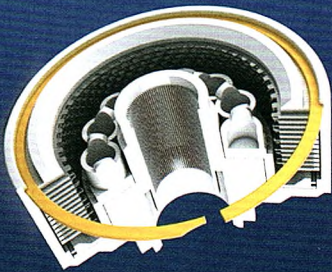
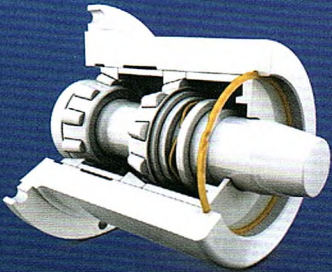
(4) 对刀杆进行人工时效处理，减小因表面渗碳热处理后硬度提高产生的裂纹风险。

通过以上措施实施后，新制造的刀杆已无故障使用9个月，满足了生产要求。 **AME**



刘华
工程师
神龙汽车有限公司

Spirolox 弹性挡圈
无凸耳干扰配套组件



Spirolox 弹性挡圈可替代普通的卡环挡圈

- 均匀的横截面不会干扰装配
- 适合径向狭窄的空间
- 可供选择稀有合金：镍基合金，Elgiloy，钛合金等

现货供应不锈钢弹簧

- 6000 多种不同型号库存，材质为碳钢和 302 & 316 不锈钢
- 可现货供应 6 mm 到 400 mm 直径的弹簧
- 能够为您量身定制，无模具成本，直径从 5 mm 至 3000 mm

免费提供样品

