

## 胀断连杆用 C70S6 高碳非调质圆钢冷剪过程开裂分析和改进措施

马 群 王连海 顾文涛 赵智刚 纪 肖

(抚顺特殊钢股份有限公司技术中心, 抚顺 113001)

**摘 要**  $\Phi 35$  mm C70S6 非调质钢 ( $\% : 0.72C, 0.20Si, 0.58Mn, 0.015P, 0.065S, 0.12Cr, 0.05Ni, 0.035V, 0.008Al$ ) 生产流程为 60 t UHP EAF-LF-VD-240 mm  $\times$  240 mm 方坯连铸-轧制。通过对剪切下料时开裂钢棒的组织、断口和剪切工艺进行分析, 得出剪切过程开裂钢棒和未开裂钢棒组织、硬度无明显差别, 因棒材在剪切过程受剪力作用, 出现水平方向移动, 造成平刀和圆刀之间的间隙增大, 使棒材剪切面弯曲变形, 造成端部开裂。通过安装时将间隙由 0.5 mm 减少至 0.3 mm, 棒材夹持力由 3 t 增至 3.5 t, 对钢材进行淋水锈蚀处理以增大摩擦力等措施, 剪切 30 t  $\Phi 35$  mm C70S6 钢材结果表明, 剪切断裂率由原 10% 降为 0。

**关键词** C70S6 高碳钢 胀断连杆 剪切断裂 组织 改进措施

### An Analysis on Cracking of Non-Quenching-Tempering High Carbon Steel C70S6 Bar for Fracture Splitting Connecting Rod during Cold-Shearing Process and Improved Measure

Ma Qun, Wang Lianhai, Gu Wentao, Zhao Zhigang and Ji Xiao  
(Technology Center, Fushun Special Steel Co Ltd, Fushun 113001)

**Abstract** The production flowsheet of  $\Phi 35$  mm bar of non-quenching-tempering steel C70S6 ( $\% : 0.72C, 0.20Si, 0.58Mn, 0.015P, 0.065S, 0.12Cr, 0.05Ni, 0.035V, 0.008Al$ ) is 60 t UHP EAF-LF-VD-240 mm  $\times$  240 mm bloom casting-rolling process. The analysis on structure, fracture and shearing technology of cracking bar during shearing process is carried out. It is obtained that the structure and hardness of cracking bar are no-obvious different to the non-cracking bar during shearing, and during shearing process by shearing stress action the shift of bar along horizontal plane occurs led to increasing the interval between flat cutter and round cutter, the deformation of bar shearing plane curving and deforming, finally causing crack at end of bar. With the measures including decreasing the interval between cutters from 0.5 mm to 0.3 mm, increasing clamping force from 3 t to 3.5 t and carried out spraying water on steel bar to enlarge coefficient of wear as installing cutters, the results of cutting 30 t steel C70S6  $\Phi 35$  mm bar products show that the rate of cutting cracking decreases to 0 from original 10%.

**Material Index** High Carbon Steel C70S6, Fracture Splitting Connecting Rod, Cutting Cracking, Structure, Improved Measure

非调质钢 C70S6<sup>[1-2]</sup> 是汽车发动机通用的胀断连杆材料, 其组织为珠光体 + 断续的铁素体, 而且铁素体大致呈网状包围在珠光体周围, 这保证了此材料在胀断生产中为脆性的解理断裂, 断口基本无塑性变形的工艺特点需要。

抚顺特钢生产的  $\Phi 35$  mm 规格 C70S6 钢在下游胀断连杆生产企业冷剪下料过程中, 剪切端出现开裂缺陷。所生产的 C70S6 钢化学成分 ( $\%$ ) 为 0.72C, 0.20Si, 0.58Mn, 0.015P, 0.065S, 0.12Cr, 0.05Ni, 0.035V, 0.008Al。生产流程是采用 60 t 超高功率电弧炉-LF-VD 精炼纯净化工艺冶炼, 经连铸-连轧成  $\Phi 35$  mm 棒材。棒材在用户处经冷剪下料至 200 mm 长料段, 锻压成轿车用 GEN3 胀断连杆, 目前钢棒冷剪开裂率接近为 10%。

#### 1 试验与检测结果分析和讨论

##### 1.1 宏观形貌

C70S6 非调质钢在冷剪切下料过程中发生端部开裂, 图 1 (a ~ d) 为剪切完好钢棒和开裂钢棒的宏观形貌, 可见缺陷为横向开裂, 开裂处据切割面的轴向距离约 8 mm, 钢棒在开裂处略呈弯曲形态, 裂纹在弯曲表面顶点张开距离最大 (约 1 mm), 开裂方向与横向剪切时在切割面附近形成的弯曲应力方向一致, 开裂钢棒的表面未发现明显的宏观缺陷。宏观观察对比开裂件和完好件的剪切端面 (见图 1c ~ d), 开裂件剪切面较为粗糙起伏, 剪切面附近基体有弯曲塑性变形; 完好件剪切面较为平整, 附近基体变形不明显。据此初步判断剪切应力<sup>[3]</sup> (或形变应力) 是导致端部开裂的重要原因。

##### 1.2 断口形貌

通过线切割整体截取钢棒开裂部分, 启开后断口宏观形貌见图 2(a), 可以看出, 宏观断口断裂面清洁, 金属晶粒较为粗糙, 色泽为浅灰色, 没有明显

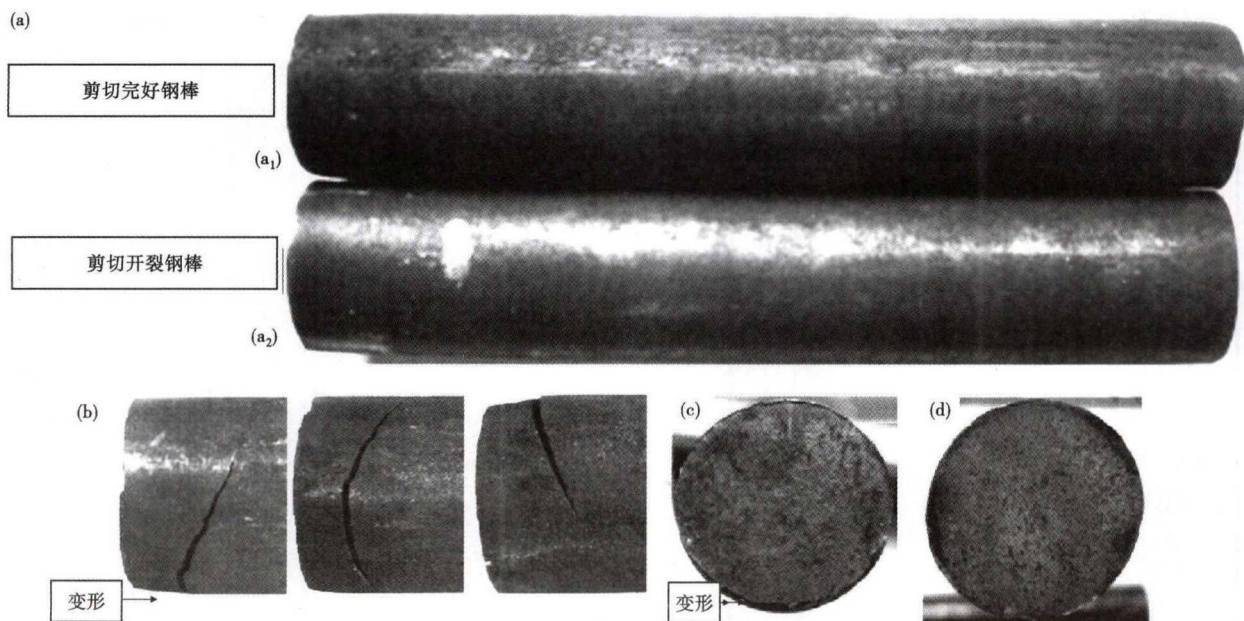


图1 Φ35 mm C70S6 钢棒剪切后的宏观形貌:(a)剪切完好(a<sub>1</sub>)与开裂(a<sub>2</sub>)钢棒整体;(b)剪切开裂钢棒外观;(c)剪切开裂钢棒端面;(d)剪切完好钢棒端面

Fig. 1 Macro-morphology of cut steel C70S6 Φ35 mm bar: (a) body of sheared sound steel bar (a<sub>1</sub>) and sheared cracking steel bar (a<sub>2</sub>); (b) shearing cracking steel bar appearance; (c) end cross section of sheared cracking bar and (d) end cross section of sheared sound bar

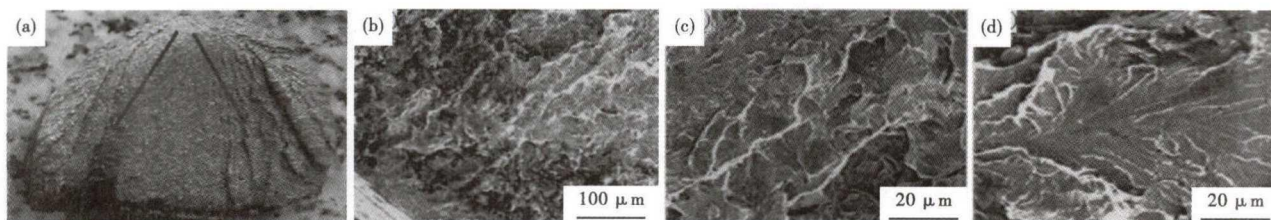


图2 C70S6 钢 Φ35 mm 棒材断口宏观形貌(a);裂纹源区(b);裂纹扩展区(c)和裂纹源区及扩展区河流状解理(d)形貌

Fig. 2 Morphology of macro-fracture of steel C70S6 Φ35 mm bar (a); morphology of crack source region (b), crack propagation region (c) and river-like cleavage crack at crack source and propagation region (d)

的韧窝。宏观断口的形貌特征一般包括裂纹源区、裂纹快速扩展区和终断区。断口的裂纹源区和裂纹扩展区均可以看到表征裂纹扩展方向的放射状条纹,根据断口放射状条纹的走向可以判断,裂纹是从钢棒外表面起裂并向内呈放射状快速扩展。结合图1可知,外表面起裂区附近有弯曲塑性变形的特征,且起裂区与剪切时形成的最大弯曲应力相对应。

超声波清洗启开后的断口,在扫描电镜下观察断口的微观形态[图2(b,c,d)],断口整体以河流状解理断裂为主,解理花样收敛于外表面裂纹源区。

断口分析表明,钢棒裂纹起始于剪切弯曲应力最大的外表面,裂纹源区断口没有明显的机械损伤和冶金缺陷,微观断口为河流状解理脆性断裂。

### 1.3 金相及硬度

剪切开裂钢棒端部轴向剖面宏观形态如图3所示,可见开裂钢棒的切割面略呈凹陷形,金相显微镜

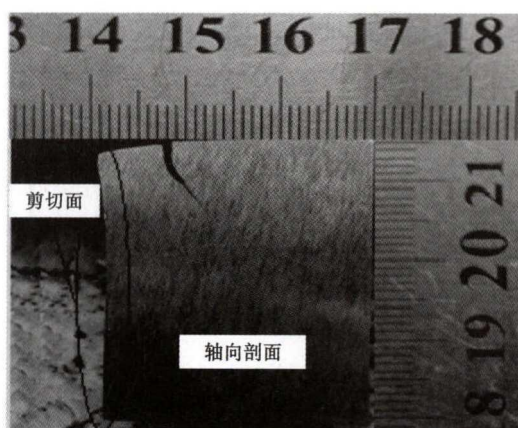


图3 剪切开裂Φ35 mm C70S6 钢棒端部轴向剖面宏观形态

Fig. 3 Macro-appearance of end cross section of steel C70S6 Φ35 mm bar shearing cracking

下观察,得出开裂钢棒裂纹两侧外表面在剪切应力作用下相互错开,裂纹总体扩展方向与钢棒轴向呈

约 45℃角,裂纹附近基体没有观察到影响材料性能的较大尺寸夹杂物。侵蚀后裂纹附近金相组织与基体一致,均为珠光体 + 铁素体组织,但切割面附近组织变形较为严重,切割形变深度达到 0.3 mm 以上。

完好件钢棒金相基体组织形貌与裂纹件没有明显差别。其切割面较为平整,切割面附近组织形变层较浅,在 0.1 mm 以内,形变深度远小于裂纹件。

从表 1 可见,剪切面、裂纹附近的硬度值基本相同;基体硬度略高,但与其它几个区域相差不大。

金相组织分析结果表明,钢棒金相组织为片层珠光体 + 铁素体,组织存在带状偏析,完好件切割面的组织形变层远小于裂纹件。

### 1.4 讨论

以上分析表明,裂纹钢棒切割面形成较深的形变层,造成这种现象的可能性之一是剪刀刃受热变钝、刀刃粘连金属或剪切方向发生偏离,切割阻力增大使钢棒产生较大的宏观弯曲变形,同时在剪切面产生较为严重的组织形变。而完好钢棒剪切面组织形变层较浅进一步说明正常切割时钢棒不会较大的变形。结合 C70S6 钢自身特点<sup>[4]</sup>可知,该钢含碳量较高,组织以珠光体为主,形变能力有限,一定程度的弯曲变形即可能形成穿晶解理脆性裂纹。另外钢棒材料基体中的铁素体呈网状和带状偏析分布降低了材料的变形能力,增加了钢棒的形变开裂倾向性<sup>[5]</sup>。

### 2 改进措施及效果

在排除原材料是引起冷剪开裂的主要原因后,钢厂技术人员到用户冷剪工位现场进行了跟踪标定。其采用的冷剪设备剪切力参数 300 t,采用上切式剪切,具体工作原理(图 4)为钢棒穿过圆刀露出切割位置后夹紧(夹持力 2~5 t),平刀在圆刀端面上上下错动剪切钢棒,平刀与圆刀水平方向安装间隙为 0.3~0.6 mm,剪切频率每分钟约 30 次。现场跟踪发现,棒料在剪切过程中受剪切力的作用频频出现水平窜料的现象,这将导致剪切端面与圆刀水平实际间隙增大,从而使剪切方向发生改变造成端部开裂。为此微调了设备的安装间隙,由 0.5 mm 调整为 0.3 mm,将棒料夹持力参数由 3 t 上调至 3.5 t,另外为防止钢材打滑,特别对钢材进行淋水

表 1 开裂的 C70S6 Φ35 mm 钢棒维氏硬度 HV 值  
Table 1 HV hardness value of steel C70S6 Φ35 mm bar shearing cracking

钢棒区域	1	2	3	4	平均值
剪切面附近	255	253	254	253	254
裂纹源附近	244	241	256	243	246
裂纹尖端	244	262	254	255	254
基体	265	260	257	262	261
总平均值					254

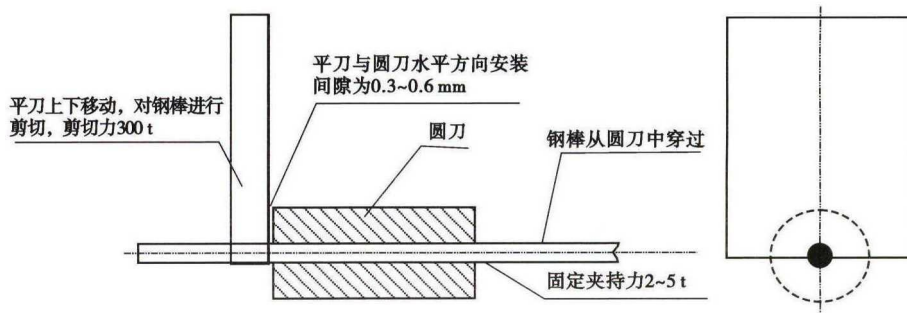


图 4 C70S6 Φ35 mm 钢棒剪切工艺示意图

Fig. 4 Schematics of shear cutting process of steel C70S6 Φ35 mm bar

锈蚀处理以增大摩擦力。经过以上改进,试验剪切了 30 t 约 500 支原材,剪切开裂率为 0%。

### 3 结论

(1) 剪切过程操作不当,使钢棒产生较大的切割弯曲变形形成裂纹源,进而造成剪切开裂。

(2) 通过缩小剪切设备安装间隙,增大剪切夹持力,并对原材表面进行淋水锈蚀处理增加表面摩擦力,避免了材料在切割中产生较大的弯曲变形,有效的防止了剪切开裂的发生。

### 参考文献

- [1] 赵立新,刘志民,赵树国. C70S6 连杆材料研究[J]. 车用发动机, 2005(4):47-50.
- [2] 曹正,史万富. 高碳微合金非调质钢连杆研究[J]. 汽车工艺与材料,2000(12):24-27.
- [3] 易敏,陈明跃,崔京玉,等. 圆钢剪切端面裂纹研究[J]. 首钢科技,2007(4):30-33.
- [4] 张志强,杨慎华. C70S6 可裂解锻钢的微观组织和力学性能[J]. 新技术新工艺,2007(11):73-75.
- [5] 查小琴,惠卫军,雍岐龙,等. 微观组织对中碳微合金非调质钢疲劳性能的影响[J]. 金属热处理,2007,32(6):94-95.

马群(1981-),男,工程师,2005 年内蒙古工业大学(本科)毕业,合金结构钢研发。E-mail:mqv99@163.com

收稿日期:2017-04-20