

连杆用 C70S6 钢的胀断性能

刘智雄¹ 惠卫军^{2,3} 刘荣佩³

(1 中国南方航空工业(集团)有限公司, 株洲 412000; 2 钢铁研究总院先进钢铁材料
技术国家工程研究中心, 北京 100081; 3 昆明理工大学, 昆明 650093)

摘要 对比分析了传统连杆用非调质钢 F38MnVS (/% : 0.37C, 1.32Mn, 0.18Si, 0.008P, 0.060S, 0.12Cr, 0.12V) 锻坯的胀断性能和胀断连杆用非调质钢 C70S6 (/% : 0.72C, 0.57Mn, 0.32Si, 0.020P, 0.060S, 0.17Cr, 0.03V) 锻坯的胀断性能。结果表明, C70S6 钢的胀断性能明显优于 F38MnVS 钢。C70S6 钢的组织以片层状珠光体为主, 铁素体的含量极低, 胀断面以脆性断裂为主, 达到胀断技术的要求。

关键词 非调质钢 C70S6 组织 胀断性能 脆性断裂

Fracture Splitting Properties of Steel C70S6 for Connecting Rod

Liu Zhixiong¹, Hui WeiJun^{2,3} and Liu Rongpei³

(1 China National South Aviation Industry (Group) Co Ltd, Zhuzhou 412000; 2 National Engineering Research
Center of Advanced Steel Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081;
3 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract The fracture splitting properties of forged slab of microalloying steel F38MnVS (/% : 0.37C, 1.32Mn, 0.18Si, 0.008P, 0.060S, 0.12Cr, 0.12V) for traditional connecting rod and the fracture splitting properties of forged slab of microalloying steel C70S6 (/% : 0.72C, 0.57Mn, 0.32Si, 0.020P, 0.060S, 0.17Cr, 0.03V) for fracture splitting connecting rod have been compared and studied. Results indicate that the fracture splitting properties of steel C70S6 are obviously better than that of steel F38MnVS. The main structure of steel C70S6 is lamellar pearlite with a little ferrite, and the splitting section is mainly brittle fracture to meet the requirement of fracture splitting technology.

Material Index Microalloying Steel C70S6, Structure, Fracture Splitting Properties, Brittle Fracture

连杆是汽车发动机内部传递动能的重要零部件,由大头、杆身和小头构成,大头是重点加工部位。传统的加工工艺是:切削大头端,将连杆分成连杆盖和连杆体,二者再通过紧固件啮合。大头上的螺栓孔结构复杂,精度要求高,但加工过程中不可避免地产生精度误差,影响大头孔的装配圆度^[1]。如果大头孔的圆度失圆,将严重影响发动机的性能稳定。

胀断技术较好地解决了此问题,其原理是:将原料整体锻造,经初加工后,在连杆的大头内侧加工两条呈对称分布、外形和尺寸均相同的 V 型凹槽。在胀断工序中,凹槽根部区域容易形成应力高度集中,促进微裂纹萌生和失稳扩展,引发脆性断裂,从而实现连杆盖和连杆体的分离^[2]。

胀断技术要求材料被胀断时发生的塑性变形量极小,断面呈脆性断裂状态。胀断面的形貌特征是三维的不规则表面,与光滑面相比,其接触面积更大,提高了断面之间的啮合性,强化了连杆的承载能力。与传统加工工艺相比,胀断技术提高了工艺精

度、产品质量和承载能力,简化了生产规模,改善了发动机的装配质量;能实现大规模生产高质量、高装配精度和低成本连杆。

制造胀断连杆的材料中,锻钢连杆的尺寸精度较高,微观组织结构与力学性能较好,应用非常广泛。在 C 含量为 0.70% 的高碳钢的成分基础上开发的非调质钢 SAE1070 或 C70S6,是欧美最早采用的胀断连杆用钢,且应用广泛,其成分特点是低 Si、低 Mn、含微合金化元素 V 和易切削元素 S,合金元素的含量范围窄,钢水洁净度的控制要求严格^[3,4]。

1 实验材料和方法

C70S6 和 F38MnVS 钢的板坯各一块,横截面尺寸均为 25 mm × 70 mm,其热锻制度和冷却制度均相同。实验钢的化学成分见表 1。沿板坯的纵向加工胀断模拟实验试样(试样尺寸 65 mm × 22 mm × 65 mm)、标准拉伸试样($l_0 = 5d_0$, $d_0 = 5$ mm)和 U2 型冲击试样(试样尺寸 10 mm × 10 mm × 55 mm),胀

表1 C70S6 钢和 F38MnVS 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel C70S6 and steel F38MnVS / %

钢号	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
C70S6	0.72	0.32	0.57	0.020	0.060	0.17	0.03
F38MnVS	0.37	0.18	1.32	0.008	0.060	0.12	0.12

断模拟实验试样和 U2 型冲击试样的开槽方向均沿板坯的横截面。

在胀断模拟实验试样上加工两道呈对称分布、外形和尺寸均相同的 V 型凹槽(图 1), 每个钢号均加工 5 个试样。实验前, 用游标卡尺测量每个试样的圆孔直径, 测量次数是 5 次, 并求取平均值; 测量方向垂直于板坯的横截面。

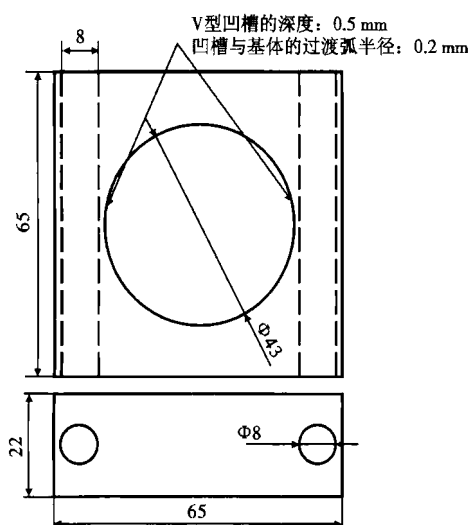


图1 胀断模拟实验用试样图

Fig. 1 Diagram of specimen testing for simulation of fracture splitting technology

将胀断试样与专用的模具组合, 置于万能试验机的夹具底部。万能试验机施加的压力通过专用模具转变成胀断力。实验时将模具和胀断试样用较软的防护材料罩住, 靠实验人员一侧设置铁丝网。

实验结束后, 擦净试样上的油污, 并用有机溶剂清洗断面, 吹干; 用螺栓将断面定位啮合; 用游标卡尺再次测量每个试样的大圆孔直径, 测量方法同上。将获得的数据整理, 各求取平均值, 获得试样被胀断前后的直径变化值。这一数据可表征断面发生塑性变形的程度: 直径变化值越小, 表明材料的塑性变形程度越低, 胀断性能越好。在扫描电镜(SEM)下观察断口的表面形貌, 并拍摄照片。

2 试验结果和分析

2.1 微观组织

实验钢的组织形貌见图 2。F38MnVS 的微观组织主要是片层状珠光体 + 沿原奥氏体晶界析出的薄片网状铁素体; 一部分铁素体在原奥氏体晶粒内析出, 形成晶内铁素体(Intragranular Ferrite, 简称 IGF)。F38MnVS 的 C 含量比 C70S6 低, 属于中碳成分, 其铁素体含量较 C70S6 高。C70S6 的 C 含量较高, 接近共析成分, 微观组织以片层状珠光体为主, 铁素体的含量极低, 沿原奥氏体晶界呈断续网状分布。

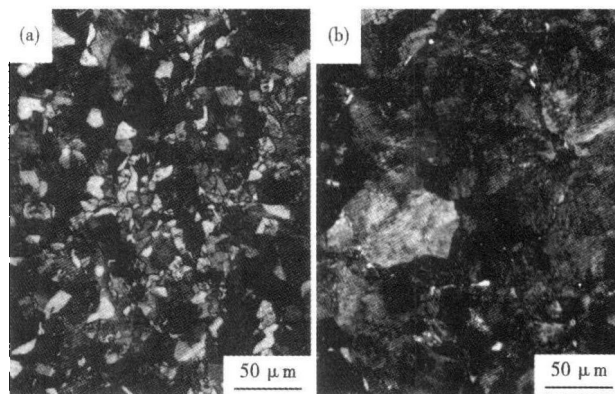


图2 锻制 F38MnVS 钢(a)和 C70S6 钢(b)的组织形貌: 铁素体(白色), 珠光体(灰色)

Fig. 2 Morphology of structure of forged steel F38MnVS (a) and steel C70S6 (b): ferrite (white) and pearlite (grey)

2.2 常规力学性能

实验钢的常规力学性能见表 2。由于 C 含量的差异, 与 F38MnVS 相比, C70S6 的抗拉强度和 HB 值较高, 但屈服强度较低, 故 C70S6 的屈强比明显低于 F38MnVS。C70S6 的室温冲击吸收功较低, 即具有较低的韧性; 但 F38MnVS 的室温冲击吸收功较高, 韧性较好。

2.3 胀断性能

冲击试样在瞬间受到与横截面平行、足以引发断裂的剪切力作用; 胀断试样受到的是与横截面垂直、且逐渐增大的拉力作用。F38MnVS 钢的 4 个试样没有完全胀开: 一侧已胀开, 但另一侧只胀开一部分区域; 另一个 F38MnVS 试样在胀断前后的直径变化值是 1.40 mm。C70S6 钢的 5 个试样均已完全胀开, 胀断前后的直径变化平均值是 0.24 mm(表 2)。

观察已完全胀开的 F38MnVS 钢试样的胀断面, 沿断面边缘区域呈灰黑色, 边缘有剪切唇, 断面中央是光亮的粒状区域。在扫描电镜下观察, 灰黑色区域是细小的韧窝区, 见图 3(a), 其断裂方式是微孔聚集断裂。灰黑色区域所占断面面积超过一半, 故断面发生了明显的塑性变形。

C70S6 钢胀断面的宏观特征是: 断面平整, 基本

表 2 C70S6 钢和 F38MnVS 钢的力学性能和胀断性能
Table 2 Mechanical and fracture splitting properties of steel C70S6 and steel F38MnVS

钢号	抗拉强度 R_m / MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ / MPa	屈强比 $R_{p0.2}/R_m$	断后伸长率 A/%	断面收缩率 Z/%	HB 值	冲击吸收功 K_{U2} /J	胀断前后的直径 变化平均值/mm
C70S6	980	535	0.546	13.8	26.0	276	18	0.24
F38MnVS	868	643	0.741	17.5	62.0	253	80	1.40

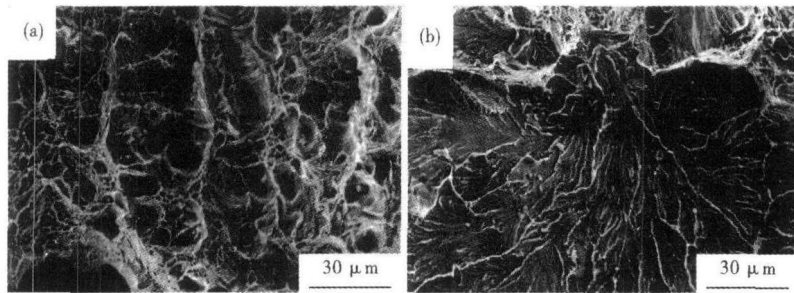


图 3 F38MnVS 钢(a)和 C70S6 钢(b)胀断面的形貌, SEM

Fig. 3 Morphology of fracture splitting surface of steel F38MnVS (a) and steel C70S6 (b), SEM

走向大致沿试样的横截面,呈现光亮的粒状区域,边缘无剪切唇;沿凹槽底部分布着呈灰黑色的细长弧形区域;放射线从凹槽底部的中心区域或附近区域呈放射状向整个断面扩展。在扫描电镜下观察,断面是三维不规则面,主体珠光体组织以脆性解理断裂为主;解理平台较大,含有清晰的河流状花样。解理平台外缘分布着呈白色的细长微孔区域,由于珠光体的韧性较低,可知此区域是沿原奥氏体晶界呈断续网状分布的铁素体。沿凹槽底部的部分区域是细小的韧窝区,表明发生了微孔聚集断裂;沿凹槽底部的另一部分区域则呈现明显的片层结构,这是裂纹穿过珠光体片层扩展的结果。凹槽根部的韧窝区和片层结构区细长,与解理面的界线比较明显,故 C70S6 钢胀断试样的裂纹源区的断裂方式是脆性断裂 + 延性的微孔聚集断裂;裂纹扩展区的珠光体区域发生脆性的解理断裂,含有铁素体的原奥氏体晶界区域发生沿晶断裂,属于延性的微孔聚集断裂,裂纹扩展区的断裂方式主要是脆性的解理断裂,见图 3(b)。

3 讨论

F38MnVS 是铁素体 + 珠光体双相组织,铁素体主要沿原奥氏体晶界呈网状分布。珠光体韧性较低,胀断时发生脆性断裂;铁素体韧性相对较高,胀断时发生延性断裂。F38MnVS 的铁素体含量较高,胀断面塑性变形量较大,不适合采用胀断技术。

提高材料的胀断性能,宏观上表现为抑制剪切唇的产生,微观机理是改变基体的断裂行为方式,即

改变裂纹在基体中的扩展方式,实现从延性断裂向脆性断裂的转变。降低非调质钢中铁素体的含量,实现微观组织由铁素体 + 珠光体双相组织向较单一的珠光体组织的转变,从而抑制裂纹在铁素体中扩展而引发延性断裂。

非调质钢 C70S6 中的铁素体沿原奥氏体晶界呈断续网状分布,这种不均匀的组织分布状态易导致在铁素体与珠光体的界面处形成较

高的塑性应变集中,促进微裂纹的萌生;珠光体中的片层状渗碳体是高硬度的脆性相,含量多,并与铁素体交替分布,这种组织分布特征导致珠光体内部的部分区域容易产生正应力集中,促进微裂纹扩展^[5,6]。

4 结论

与 F38MnVS 钢相比, C70S6 钢的 C 含量较高,实现微观组织由铁素体 + 珠光体双相组织向较单一的珠光体组织的转变,抑制裂纹在铁素体中扩展而引发的延性断裂,从而实现向脆性断裂方式的转变,达到胀断技术的要求。

国家科技支撑计划资助项目(2007BAE51B03)

参考文献

- 曹正,史万富,王敢利,等.高碳微合金非调质钢连杆研究.汽车工艺与材料,2000(12):24
- Gu Z, Yang S, Ku S, et al. Fracture Splitting Technology of Automobile Engine Connecting Rod. International Journal Advanced Manufacturing Technology, 2005, 25: 883
- 姚贵升.汽车裂解连杆用钢的开发.汽车工艺与材料,2004(11):7
- 曹正.汽车发动机连杆材料的现状及发展趋势.汽车工艺与材料,2007(1):7
- 詹姆斯,谢弗.工程材料科学与设计.余永宁,强文江译.北京:机械工业出版社,2008
- 查小琴,惠卫军,雍岐龙.铁素体-珠光体型非调质钢的高周疲劳破坏行为.材料研究学报,2008,22(6):634

刘智雄(1982-),男,硕士,2010年昆明理工大学毕业,焊接技术、材料组织和性能研究。

收稿日期:2011-04-01