

# 12Cr1MoV 钢组织转变与 剩余寿命预测

Microstructural Changes and Residual Life  
Prediction of 12Cr1MoV Steel

高宏波, 谢守明, 赵 杰, 王 来, 韩双起  
(大连理工大学, 大连 116024)

GAO Hong-bo, XIE Shou-ming, ZHAO Jie, WANG Lai, HAN Shuang-qi  
(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**摘要:** 12Cr1MoV 钢是国内电站锅炉等高温部件广泛采用的钢种。研究表明, 对于在高温条件下运行的 12Cr1MoV 钢来说, 由于组织的劣化, 导致持久性能的下降, 这一过程可用 Larson-Miller 法表示为:  $10^{-3} \cdot T \cdot (20 + \lg t_r) = Z - b \lg \sigma - c$ , 其中  $b, c$  是常数,  $Z$  是用于表征由于组织劣化而产生的组织变化参数。通过关联数种不同组织状态的 12Cr1MoV 材料的持久性能数据, 研究了组织、持久性能与组织变化参数之间的关系, 为高温构件剩余寿命的预测提供了一种新的分析方法。

**关键词:** 12Cr1MoV 钢; 剩余寿命预测; 持久性能

中图分类号: TG142.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2005)03-0040-03

**Abstract:** 12Cr1MoV steel was widely used in high-temperature components of power plants and boilers. It has been shown that the creep-rupture strength decreased with microstructural degradation. The relationship based on Larson-Miller method can be expressed as:  $10^{-3} \cdot T \cdot (20 + \lg t_r) = Z - b \lg \sigma - c$  where  $b, c$  are constant, and  $Z$  is a parameter related to degradation of creep-rupture strength. The current work investigated the relationship among microstructure, creep-rupture strength and degradation of property by analyzing creep-rupture strength data. Several 12Cr1MoV steels which had different microstructure were investigated to establish a new analytical model for predicting the residual life of high-temperature component.

**Key words:** 12Cr1MoV steel; residual life prediction; creep-rupture strength

12Cr1MoV 钢是国内电站锅炉等高温部件广泛采用的钢种, 主要用于制造蒸汽温度不超过 540℃ 的集箱、蒸汽管道, 金属壁温不超过 580℃ 的过热器、再热器及部分铸锻件<sup>[1]</sup>。关于 12Cr1MoV 钢剩余寿命的预测, 一直以来都备受关注。目前关于剩余寿命预测的方法很多, 常用的有等温线法、时间-温度参数法<sup>[2]</sup>、 $\theta$  参数法等<sup>[3]</sup>。而本工作主要是通过对不同组织状态的 12Cr1MoV 钢持久性能的分析, 研究了组织、持久性能与组织变化参数之间的关系, 为高温构件剩余寿命的预测提供了一种新的分析方法。

## 1 组织转变与剩余寿命

12Cr1MoV 钢在高温压力长期作用下, 珠光体将发生球化, 即珠光体组织中片状渗碳体逐渐自发地趋于形成球状渗碳体, 并聚积长大; 与此同时,  $\alpha$  固溶体

中合金元素发生贫化, 向碳化物中迁移; 而碳化物在晶界或晶内沉淀析出并长大<sup>[4]</sup>。这些组织转变过程使材料的持久强度降低, 剩余寿命减少。通过对组织劣化程度不同的 12Cr1MoV 钢持久性能的分析, 可以建立起组织与持久性能以及剩余寿命之间的关系。

为建立不同组织劣化级别与持久性能之间的对应关系, 对组织劣化程度不同的 12Cr1MoV 钢持久性能数据进行了搜集整理 (见图 1 及表 1)。本研究主要对珠光体中度和完全球化的 12Cr1MoV 钢持久性能进行了分析。中度球化时, 珠光体区域中的碳化物已分散, 碳化物全部成小球状, 但仍保持原有的区域形态。完全球化时, 大量碳化物分布在铁素体晶界上, 晶内的碳化物长大, 仅有极少量珠光体区域的痕迹。

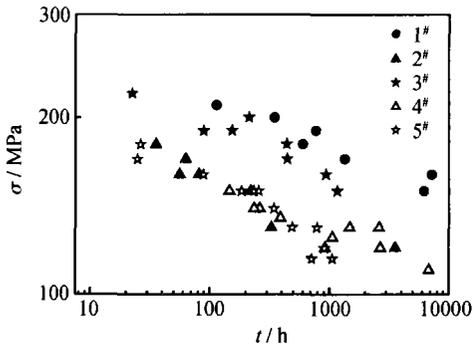


图1 12Cr1MoV 钢持久性能数据

Fig. 1 Creep-rupture strength data of 12Cr1MoV steel

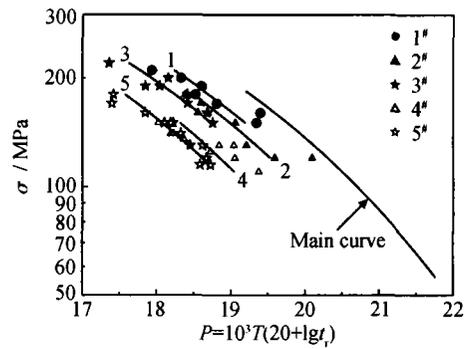


图2 12Cr1MoV 钢持久性能曲线

Fig. 2 Creep-rupture strength curves of 12Cr1MoV steel

表1 试样的组织状态

Table 1 Microstructural state of the samples

Sample	Microstructure
1# [5]	Slight spheroidization
2#	Medium spheroidization
3#	Medium spheroidization
4# [6]	Complete spheroidization
5#	Complete spheroidization

在剩余寿命预测方法中,通过 Larson-Miller 参数外推是普遍应用且比较成熟的方法,结果相对可靠<sup>[7]</sup>,本工作采用 L-M 法,利用文献[1]中的数据,通过回归分析,得到 12Cr1MoV 钢持久性能主曲线(如图 2 中主曲线所示):

$$10^{-3} \cdot T \cdot (20 + \lg t_r) = 26.68 - 2.49 \lg \sigma - 0.01 \sigma \quad (1)$$

对于不同的组织劣化级别,可以通过对主曲线进行外推得到,如(2)式所示:

$$10^{-3} \cdot T \cdot (20 + \lg t_r) = Z - 2.49 \lg \sigma - 0.01 \sigma \quad (2)$$

式中:  $T$  是工作温度(K),  $\sigma$  是工作应力(MPa),  $t_r$  是剩余寿命(h),  $Z$  是参数,表征持久性能变化程度。

对于图 1 中各组实验数据,通过(2)式进行拟合,所得持久性能曲线如图 2 中曲线 1-5 所示。各曲线对应的  $Z$  值,也就是组织变化参数,见表 2。

表2 组织变化参数  $Z$ Table 2 Degradation of creep-rupture strength parameter  $Z$ 

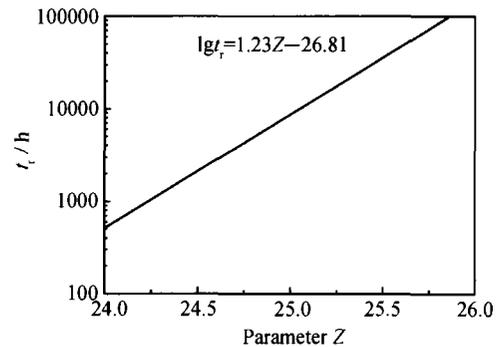
Sample	1#	2#	3#	4#	5#
$Z$ value	26.11	25.91	25.65	25.23	24.99

工作条件一定时,通过式(2),可以对材料的剩余寿命进行预测,如在压力为 80MPa,温度为 540℃条件下,可求出各组试样对应的剩余寿命(表 3)以及剩余寿命与  $Z$  的关系曲线(图 3)。

表3 在 540℃/80MPa 条件下试样的剩余寿命

Table 3 Residual life of the samples under 540℃/80MPa

Sample	1#	2#	3#	4#	5#
Remain life/h	201976	114630	54891	16707	8466

图3 540℃/80MPa 下剩余寿命与  $Z$  的关系曲线Fig. 3 The relationship curve between residual life and  $Z$  under 540℃/80MPa

为便于比较,采用本研究的预测方法对试样在实际工作条件下的剩余寿命进行了预测,预测结果见表 4,同时给出了资料中用传统方法预测的结果。

表4 剩余寿命预测对比

Table 4 Comparison of residual life prediction

Sample	1#	2#	3#	4#	5#
Stress/MPa	91.14	60	42.02	61.5	86.6
Temperature/℃	540	580	540	540	540
Current method	98294	30278	> 100000	62793	5479
Other methods	81000	70000	> 100000	50000	24000

## 2 分析讨论

由表 2,3 可见,轻至中度球化的第一组试样,其组织变化参数  $Z$  为 26.11,中度球化的二、三组试样,  $Z$  值分别为 25.91 和 25.65,而完全球化的四、五组试样,其  $Z$  值则为 25.23 和 24.99。由此可见,随着珠光

体化程度的加重,组织变化参数  $Z$  的值也在降低。并且在工作条件一定时,珠光体球化越严重,剩余寿命越少。这是因为珠光体球化的过程就是组织劣化的过程。随着组织的劣化,合金元素不断从固溶体中转移,尤其是 Mo 元素的脱溶,减弱了固溶强化的效果,同时碳化物在晶界析出聚集,晶内碳化物颗粒长大,使得弥散强化作用减小,最终使材料的持久性能降低,剩余寿命减少<sup>[2]</sup>。同时由表 3 可以看到,在球化程度相同时,剩余寿命相差得也比较大,比如第二、三组试样同为中度球化,在相同的条件下,其剩余寿命相差约 6 万小时。

由于持久性能数据有限,无法准确给出不同组织劣化级别下  $Z$  值的范围。在数据足够多的情况下,可以针对典型的组织劣化情况,给出  $Z$  值的范围,从而可以根据组织劣化情况粗略估计材料的剩余寿命。

关于本方法预测的准确性问题,从表 4 可以看出,采用本工作所述方法与传统方法相比,第一、三、四组试样相差不多,而第二、五组则相差较多。分析原因,主要有以下几点:(1) 对于 12Cr1MoV 钢来说,主曲线选取的不同,造成剩余寿命预测不同。如第五组试样,资料中采用的主曲线与本工作中采用的主曲线略有不同,由此使剩余寿命预测结果相差较大。(2) 持久性能试验数据的处理问题。高应力短时数据与低应力长时的数据相比,应着重考虑后者,因为低应力长时数据更能反映出材料的持久性能。(3) 安全系数的选取对于剩余寿命预测的影响也比较大。

### 3 结论

(1) 12Cr1MoV 钢由于组织劣化而产生的持久性能下降可表示为:

$10^{-3} \cdot T \cdot (20 + \lg tr) = Z - 2.49 \lg \sigma - 0.01 \sigma$  其中  $Z$  是用于表征组织变化的参数。

(2) 随组织劣化严重,  $Z$  值不断降低,随之剩余寿命不断减少。

#### 参考文献

- [1] 李耀君. 火电厂用 12Cr1MoV 钢球化评级标准[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] 刘荣藻. 低合金耐热钢的强化机理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981.
- [3] 杨玉玥, 李志文.  $\theta$  法预测 12Cr1MoV 钢主蒸汽管道材料剩余寿命[J]. 金属学报, 1999, (7): 721-725.
- [4] 周顺深. 低合金耐热钢[M]. 上海: 上海人民出版社, 1976.
- [5] 顾卫东. 超高压锅炉导汽管材料损伤试验与寿命分析[J]. 压力容器, 2002, (4): 4-7.
- [6] 李国庆. 洛阳热电厂超期服役机组锅炉管寿命研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2000.
- [7] 赵杰, 朱世杰, 王富岗. 转化炉管材料 HK40 的组织转变与持久寿命预测[J]. 机械强度, 1994, (4): 76-78.

收稿日期: 2004-03-02; 修订日期: 2004-12-13

作者简介: 高宏波(1973-), 男, 硕士, 研究方向为珠光体耐热钢组织性能及剩余寿命预测, 联系地址: 大连理工大学材料系(116024).

(上接第 39 页)

(2) 研究了  $Al_2O_3/TiC/CaF_2$  陶瓷材料的摩擦磨损性能, 结果表明,  $Al_2O_3/TiC/CaF_2$  陶瓷材料具有一定的自润滑性能, 能有效改善摩擦性能, 当  $CaF_2$  为 10% 时摩擦系数最低, 约为 0.28 左右,  $CaF_2$  含量为 15% 的陶瓷材料反而具有较大的摩擦系数, 达到了 0.32 左右。

(3) 自润滑陶瓷的力学、摩擦性能并不一定随固体润滑剂含量的增加成线性变化, 只有当固体润滑剂与基体材料的物理化学性能相匹配, 并添加合适的数量时, 才能获得较优的综合性能。

#### 参考文献

- [1] 赵志强, 王永兰, 金志浩.  $Al_2O_3 + CaF_2 + Glass$  自润滑复合材料摩擦磨损的研究[J]. 硅酸盐通报, 1998, 14(2): 14-17.
- [2] 蒋阳, 夏永红, 程继贵. 石墨 ZTA 自润滑陶瓷基复合材料摩擦特性的研究[J]. 粉末冶金技术, 1999, 17(4): 273-276.
- [3] 桑可正, 金志浩. 高温自润滑陶瓷复合材料研究进展[J]. 硅酸盐

通报, 1998, 14(5): 27-32.

- [4] CARRAPICHANO J M, GOMES J R, SILVA R F. Tribological behaviour of  $Si_3N_4-BN$  ceramic materials for dry sliding applications[J]. Wear, 2002, 253: 1070-1076.
- [5] SANG Ke-zheng, L Zheng-lin, JIN Zh-hao. A study of the  $Si_3N_4-L$  composite ceramics for self-lubrication[J]. Wear, 2002, 253: 1188-1193.
- [6] 石森森. 固体润滑技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998.
- [7] BURN R, MURRAY G T. Plasticity and dislocation etch pits in  $CaF_2$ [J]. J Ame Ceramic Soc, 1962, 45: 251-252.
- [8] LONGSON B. Lubrication of high temperature ceramic materials [J]. Tribology International, 1983, 16: 221-225.

基金项目: 国家自然科学基金(50275088); 山东省中青年科学家奖励基金(02BS064); 教育部优秀青年教师资助计划资助课题(2005)

收稿日期: 2004-03-16; 修订日期: 2004-09-08

作者简介: 曹同坤(1976-), 男, 博士生, 主要从事切削加工和刀具材料方面的研究, 联系地址: 山东大学南校区机械工程学院 4 号信箱(250061).