

高温长时蠕变后G115钢微观组织的演变及其对硬度的影响

周任远¹, 朱丽慧^{1,*}, 柯志刚¹, 王金磊¹, 翟国丽²

Renyuan Zhou¹, Lihui Zhu^{1,*}, Zhigang Ke¹, Jinlei Wang¹, Guoli Zhai²

1. 上海大学 Shanghai University

2. 宝钢中央研究院 Central Research Institute, Baoshan Iron & steel Co., Ltd.

*Corresponding author: lh Zhu@i.shu.edu.cn

引言

G115 (9Cr-3W-3Co-1CuVNbB) 是钢研院研发的新一代马氏体耐热钢, 是650℃超超临界火电机用马氏体耐热钢的最佳候选材料。G115以W代Mo, 添加Co和Cu元素, 其高温持久强度较T92有很大程度的提高。耐热钢高温蠕变后微观组织演变对高温性能有至关重要的影响, 有必要研究G115钢高温长时蠕变后微观组织的演变以及对性能的影响。

实验方法

对G115钢进行650℃中断蠕变试验, 选取蠕变1000、1879、5000和7288小时以及G115的正回火态试样进行研究。利用扫描电镜 (SEM) 和透射电镜 (TEM) 重点观察析出相、位错和马氏体板条在高温蠕变过程中的演变, 并统计析出相的平均尺寸和体积分数、位错密度和马氏体板条宽度。最后通过强度计算来讨论高温蠕变过程中微观组织对G115强度和硬度的影响。

结果和讨论

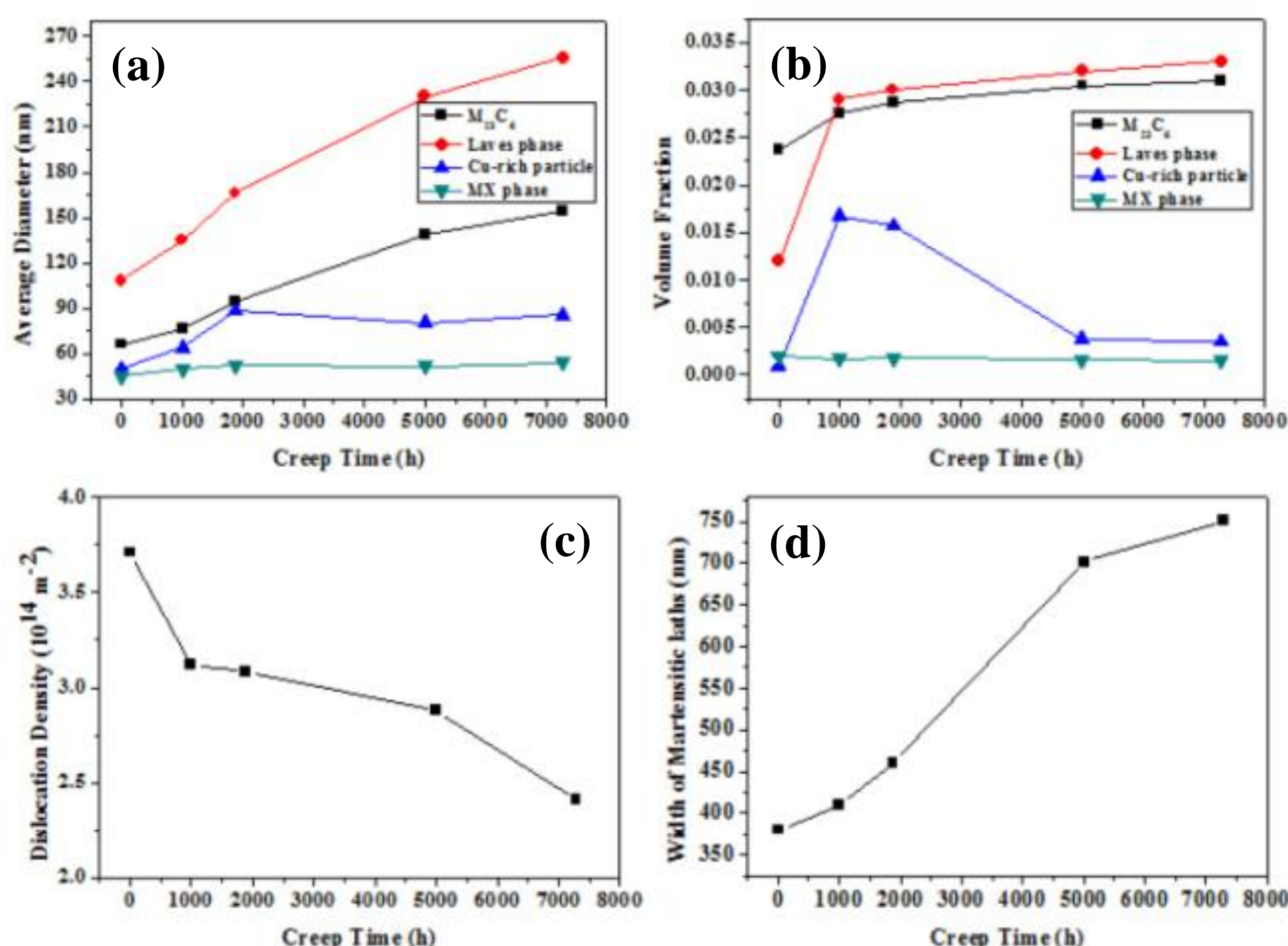


Fig. 1 The statistics results as a function of creep time

通过SEM和TEM观察可知, G115钢在650℃蠕变后析出Laves相、 $M_{23}C_6$ 相、富铜相和MX相。Laves相和 $M_{23}C_6$ 相尺寸较大。大部分Laves相和 $M_{23}C_6$ 相在原奥氏体晶界和马氏体板条界上析出, 也有少量在晶内析出。富铜相和MX相较为细小, 大多在晶内析出。析出相、位错和马氏体板条随蠕变时间的具体变化如图1所示。随着蠕变时间的延长, Laves相、 $M_{23}C_6$ 相尺寸增大, 而MX相尺寸基本保持不变。富铜相也有长大趋势, 并且部分富铜相在蠕变过程中发生溶解。蠕变初期, 位错密度下降较快但马氏体板条宽化较缓。蠕变1000至5000小时, 位错密度下降减缓但马氏体板条宽化加快。蠕变5000小时后, 位错密度进一步下降而马氏体板条宽化速率变缓。

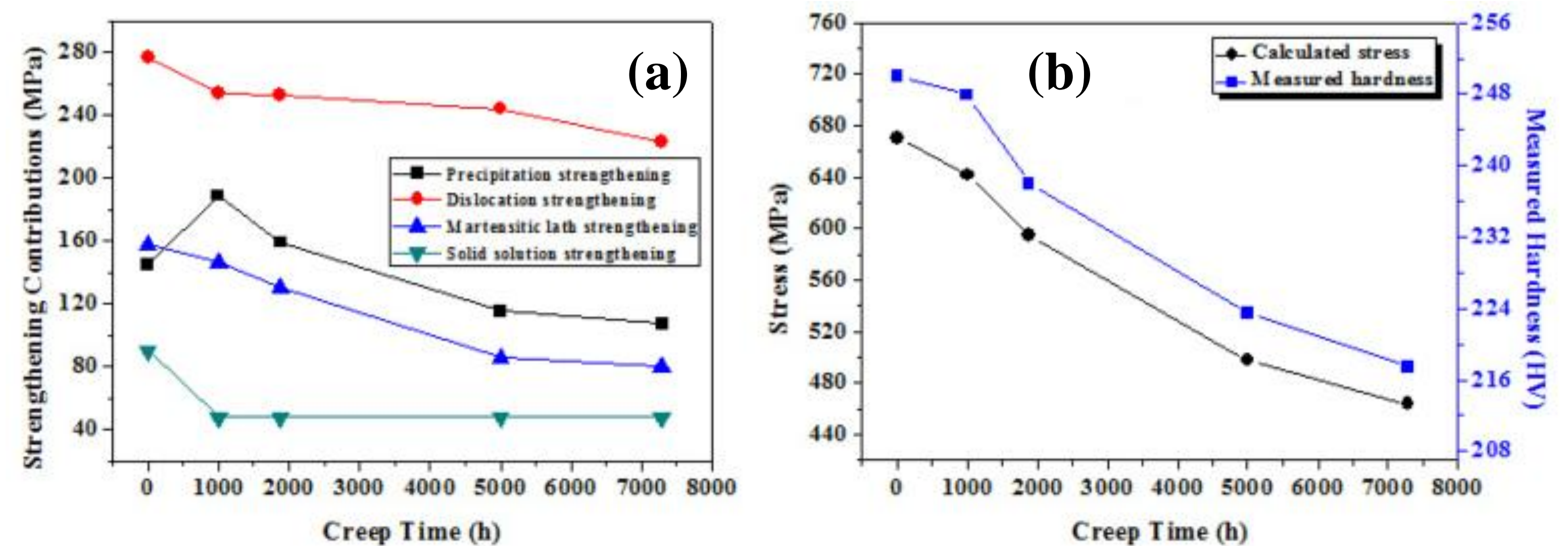


Fig.2 Strengthening contributions and its comparison with measured hardness

$$\sigma_{Or} = \frac{0.3Gb\epsilon^{1/2}}{d} \ln\left(\frac{d}{2b}\right) \quad (1)$$

$$\sigma_p = M\alpha_1 Gb\sqrt{\rho} \quad (2)$$

$$\sigma_L = \frac{\alpha_2 Gb}{\lambda} \quad (3)$$

$$\sigma_{ss} = K_i C_i^{3/4} \quad (4)$$

通过将总强度的计算结果和测量的硬度相对比, 发现两者的变化趋势吻合得较好。在蠕变初期, 随着Laves相的大量析出, 基体中W含量急剧下降, 导致固溶强化快速降低。但析出强化的快速升高弥补了部分位错强化、板条强化和固溶强化的下降, 导致强度和硬度下降较缓。蠕变1000至5000小时, 位错强化和固溶强化的变化较为平稳, 但析出强化和板条强化下降较快, 因而强度和硬度快速下降。蠕变5000小时后, 位错密度的持续下降使得强度和硬度进一步降低。尽管G115钢中析出相产生的强化效果不是最大, 但一方面, 析出相可以减缓位错密度的降低和马氏体板条的宽化, 增强位错和马氏体板条强化效果。另一方面, 析出相产生的析出强化对G115钢蠕变过程中强度和硬度的变化有很大的影响。因而析出相对提升G115钢的性能非常关键。

致谢

感谢国家重点研发计划(2016YFC0801901)的支持