

考虑相差异的煤矿液压支柱缸体用 27SiMn 钢组织性能预测

贺 静, 朱永丽

(重庆工程职业技术学院 机械工程学院, 重庆 400037)

摘 要:利用 JMatPro 软件模拟了液压支柱缸体用 27SiMn 钢凝固和冷却过程的组织与性能。计算时,考虑不同相的组织性能差异,得到室温至熔化温度区间合金中主要相的热物理性能参数和部分力学性能参数,以及 27SiMn 钢冷却过程的 CCT 曲线。结果表明:27SiMn 钢奥氏体转变温度区间为 716~838℃;在 900~1453℃,存在 MNS 相;在 1414~1468℃,奥氏体含量开始减小,高温铁素体相增大。当温度低于 731.64℃时,有渗碳体析出;当温度低于 380℃时,有 M_7C_3 形成,室温平衡组织为铁素体+渗碳体+ M_3P + M_7C_3 。

关键词:27SiMn 钢;相图;热物理性能;CCT 曲线

中图分类号:TG113.1

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2013)18-0060-04

Microstructure and Properties Prediction for Colliery Hydraulic Prop Cylinder Used 27SiMn Steel Considering Phase Difference

HE Jing, ZHU Yongli

(Department of Electrical and Mechanical Engineering, Chongqing Engineering Polytechnic College, Chongqing 400037, China)

Abstract: The microstructure and properties of hydraulic prop cylinder used 27SiMn steel in process of solidification and cooling was simulated. In calculation, considering the difference of different phase's microstructure and properties, the thermal physical performance parameters and some mechanical properties for the main phase from room temperature to the melting temperature, as well as the CCT curve were obtained. The results show that: the transition temperature range for austenite is 716~838℃; MNS phase exists at 900~1453℃, At 1414~1468℃, the austenite content begins to decrease and high-temperature ferrite phase increases. In addition, when the temperature is lower than 731.64℃, the cementite precipitates; and M_7C_3 appears when the temperature is below 380℃, the final room temperature equilibrium microstructure is ferrite, cementite, M_3P and M_7C_3 .

Key words: 27SiMn steel; phase diagram; thermo-physical properties; CCT curve

27SiMn 钢是煤矿液压支架立柱的常用结构材料之一,要求具有良好综合力学性能。目前,有关 27SiMn 钢的研究报道较多。例如,任鑫等^[1-2]对比研究了 7SiMn 钢化学镀 Ni-P 和 Ni-Ce-P 的性能,结论是 Ni-Ce-P 镀层的耐腐蚀性明显优于 Ni-P 镀层;李安铭等^[3]采用试验方法研究了 27SiMn 钢奥氏体逆相变亚温淬火的组织与性能;张太超等^[4]研究了 27SiMn 钢临界温度淬火高温回火后的力学性能;李智丽等^[5]研究了 27SiMn 钢奥氏体连续冷却转变曲线,并结合金相—硬度法获得了该钢的连续冷却转变曲线(CCT 曲线)。上述研究都是基于传统实验手段,鲜有利用现代材料计算学理论对 7SiMn 钢凝固和冷

却过程中合金不同相的性能进行了计算。

本文利用先进的材料相图及性能计算软件 JMatPro,对煤矿液压支架缸体用 27SiMn 钢凝固和冷却过程进行分析计算,得出了相图、连续冷却转变曲线(CCT 曲线)以及不同温度下几种主要组成相的热物理性能参数和部分力学性能参数。研究结果不仅可为 27SiMn 钢轧制和热处理过程的有限元仿真提供必要数据支持,也可为其实际工艺规范的制订提供指导。

1 实验材料及计算方法

根据 GB3414-82 的规定,液压支柱缸体用 27SiMn 钢的名义合金成分为(质量分数,%)0.24~0.32 C, 1.10~1.40 Si, 1.10~1.40 Mn, $P \leq 0.035$, $Cr \leq 0.309$, $Ni \leq 0.30$, $Cu \leq 0.30$, Fe 余量。采用 Jmatpro 软

收稿日期:2013-01-01

作者简介:贺静(1975-),女,重庆铜梁人,讲师,研究生学历,研究方向为机械制造;电话:18908383319;E-mail: hjlth@163.com

件进行计算时,合金成分取值为(质量分数,%)0.27C, 1.3Si, 1.3Mn, 0.03S, 0.03P, 0.3Cr, Fe 余量。

JMatPro 软件是英国 Thermotech 公司基于合金热力学数据库,开发建立物理模型动态求解材料性能的,并通过关键实验验证来保证计算结果的准确性。该软件所采用物理模型准确描述性能对相成分和温度的依赖性。JMatPro 软件可用来计算金属材料多相平衡与多种性能,其独特优势使它能计算出合金中每一个相的性能数据。近年来,JMatPro 软件开始在国内焊接、应力场数值模拟、金属材料热处理、铸造和锻压等方面分析中得到应用^[6-8]。

2 计算结果分析

2.1 平衡相图和 CCT 图

图 1 是通过 JMatPro 软件计算得到的考虑不同相的 27SiMn 钢凝固过程的平衡相图,结合铁碳合金平衡相图(图 2),可看出,在凝固和冷却过程中,27SiMn 钢固液相温度为 1414~1485℃。奥氏体(γ -Fe)转变温度为 716~838℃,在 838~1414℃,存在 γ -Fe;在 900~1453℃,存在 MnS;在 1414~1468℃,奥氏体含量开始减小,高温铁素体(δ -Fe)逐渐增多。当温度低于 731.64℃时,有渗碳体析出;当

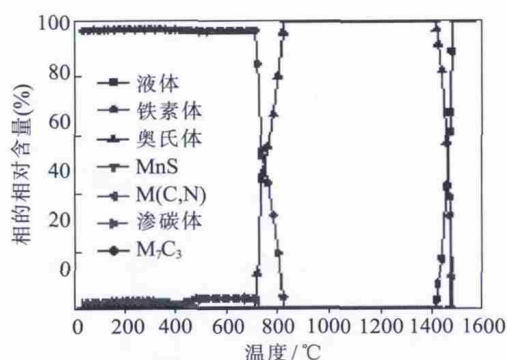


图 1 27MnV 钢凝固过程的相图

Fig.1 Phase diagram of 27MnV steel in solidification

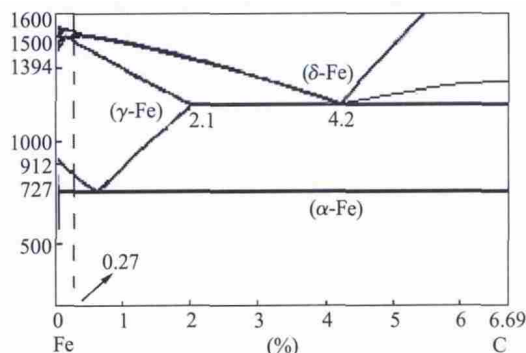


图 2 铁-碳相图

Fig.2 Fe-C phase diagram

温度低于 380℃时,有 M_7C_3 形成,最终得到的室温平衡组织为铁素体+渗碳体+ M_3P + M_7C_3 。

图 3 为计算得到的 27SiMn 钢冷却过程的 CCT 图。图中,Ferrite (0.1%) 线表示铁素体转变开始线,Perrite(0.1%)线为珠光体转变开始线,Perrite(99.9%)线为珠光体转变终了线;Bainite(0.1%)线为贝氏体转变开始线,Bainite(99.9%)线为贝氏体转变终了线。根据图 3,在连续冷却过程中,当冷速大于 100℃/s 时,凝固组织为铁素体,残余奥氏体,马氏体和少量贝氏体;当冷速在 10~100℃/s 时,凝固组织主要为铁素体、贝氏体、马氏体和珠光体;当冷速在 1~10℃/s 时,凝固组织主要为铁素体、珠光体、贝氏体和少量马氏体;当冷速在 0.1~1℃/s 时,凝固组织主要为铁素体、珠光体和少量贝氏体;当冷速小于 0.1℃/s 时,凝固组织主要为珠光体和铁素体。另外,由图 3 还可看出,在 27SiMn 钢冷却过程中,珠光体、贝氏体和铁素体对应的转变初始温度分别为 734.8、526.4 和 825.5℃;马氏体的转变开始温度为 351.9℃,至 317.2℃时,马氏体转变量为 50%;温度冷却至 236.7℃时,马氏体转变量为 90%。

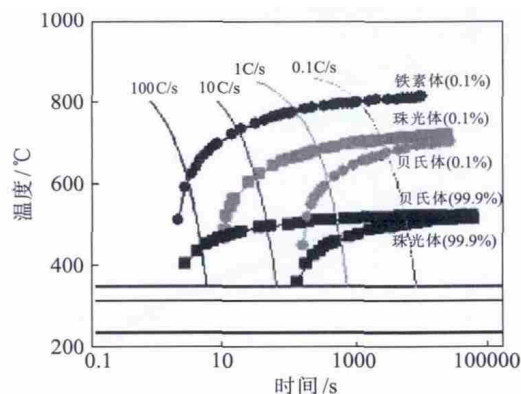


图 3 27SiMn 钢冷却过程的 CCT 图

Fig.3 CCT diagram of 27SiMn steel in cooling

2.2 热物理性能

图 4 为通过 JMatPro 软件计算得到的考虑相差异的 27SiMn 钢不同温度下的电阻率和电导率。图 4 (a)显示,27SiMn 钢的电阻率随温度降低而降低,在不同温度下,组成物 MnS 电阻率均高于平均电阻率;而铁素体和奥氏体的电阻率同平均电阻率相当,室温时有最小电阻率 $0.43 \times 10^{-6} (\text{Ohm} \cdot \text{m})$ 。

图 4(b)显示,27SiMn 钢的电导率随温度的降低而升高,在不同温度下,组成物 MnS 电导率均低于电导率平均值,而铁素体和奥氏体的电导率和平均电导率相差不大,27SiMn 钢在室温时有最大电导率

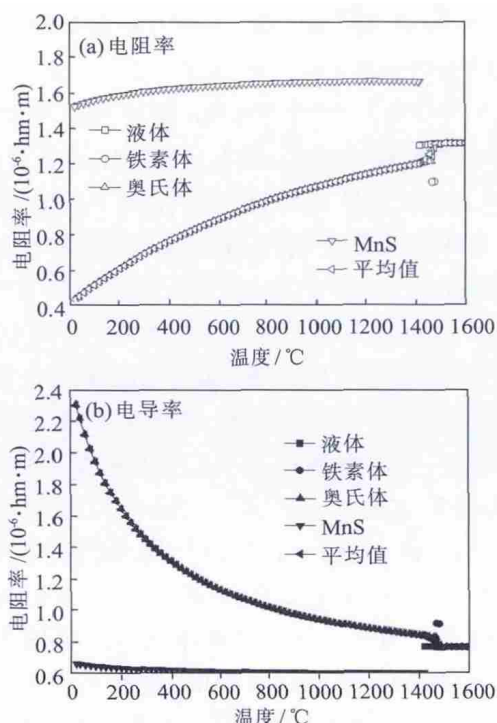


图4 不同温度下电阻率和电导率

Fig.4 Electrical resistivity and conductivity under different temperatures

$2.31 \times 10^6 (1/\Omega \cdot m)$.

2.3 力学性能

图5为通过JMatPro软件计算得到的考虑相差异的27SiMn钢凝固和冷却过程不同温度下的杨氏

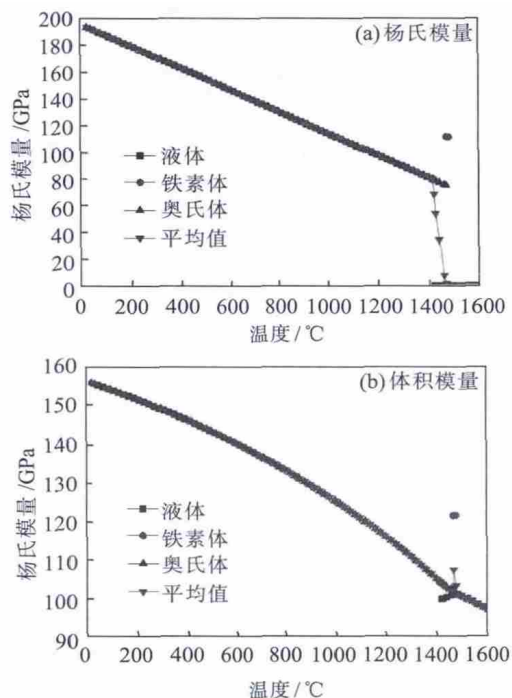


图5 不同温度下的杨氏模量和体积模量

Fig.5 Young's modulus and bulk modulus under different temperatures

模量和体积模量。图5(a)显示,合金处于液体状态时($>1468^{\circ}C$),杨氏模量近似为零,当有固相生成时,杨氏模量骤然增大,当温度低于 $1420^{\circ}C$ (合金完全凝固为固体)时,杨氏模量增大至 $79.37 GPa$;随后,杨氏模量随着温度的降低近似呈线性增加,冷却至室温时,杨氏模量有最大值 $193.66 GPa$ 。图5(b)显示,27SiMn钢的体积模量随温度的降低一直增大,室温时有最大值 $155.39 GPa$ 。另外,由图5还可看出,在27SiMn钢的组织中,铁素体和奥氏体的杨氏模量和体积模量同平均值的变化趋势相近,而高温铁素体的杨氏模量和体积模量近似为 111.49 、 $121.32 GPa$ 。

图6给出了通过JMatPro软件计算得到的考虑相差异的27SiMn钢凝固和冷却过程摩尔体积和热膨胀系数随温度的变化。图6(a)显示,27SiMn钢的摩尔体积和热膨胀系数均随温度的降低而降低。在不同温度下,MnS的摩尔体积和热膨胀系数均高于铁素体、奥氏体以及液相的对应值。在27SiMn钢的凝固温度($1420 \sim 1485^{\circ}C$),摩尔体积和热膨胀系数随温度的降低发生陡降。在室温状态时,27SiMn钢具有最小摩尔体积和热膨胀系数,分别为 $6.82 cm^3$ 和 $22.92 \times 10^{-6} (K^{-1})$ 。

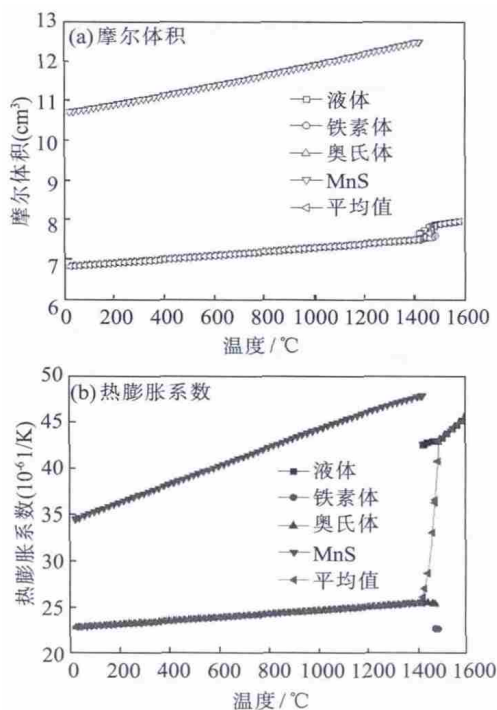


图6 不同温度下的摩尔体积和热膨胀系数

Fig.6 Molar volume and thermal expansion coefficient under different temperatures

2.4 端淬性分析

末端淬火试验常用于评定钢铁材料淬透性。

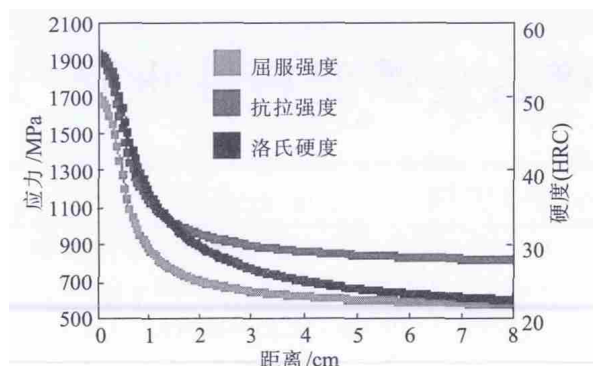


图7 末端淬火性能
Fig.7 Jominy hardenability

图6为按照27SiMn钢传统热处理工艺(860℃保温,水淬)条件下,计算得到的末端淬火屈服强度,抗拉强度,洛氏硬度随淬火端面距离的变化曲线。可看出,在淬火端面,27SiMn钢具有最大屈服强度1688 MPa,抗拉强度1897 MPa和洛氏硬度55.57 HRC,随距离增大,三者均减小;在距离淬火端面0~1 cm,减幅最大,随后趋于平缓。

3 结论

(1) 27SiMn奥氏体转变温度区间为716~838℃;在900~1453℃,存在MNS;在1414~1468℃,奥氏体含量开始减小,高温铁素体(δ -Fe)含量逐渐增多。当温度低于731.64℃时,有渗碳体析出;当温度低于380℃时,有 M_7C_3 形成,得到的室温平衡组织为铁素体+渗碳体+ M_3P + M_7C_3 。

(上接第59页)过程中吸收了更多能量,表现出较高韧性。从强度上分析,根据Hall-Petch公式^[5]:

$$\sigma_s = \sigma_0 + k d^{-1/2}$$

式中: σ_0 、 k 为常数, d 为晶粒直径。试式表明:晶粒越小,材料的屈服极限 σ_s 越大,这是由于晶粒细,晶界增多,晶界上的原子排列不规则,杂质和缺陷多,能量较高,阻碍位错的通过,即阻碍塑性变形,也就实现了高强度。晶粒越细,在一定体积内晶粒数目多,则在同样塑性变形量下,变形分散在更多晶粒内进行,变形较均匀,且每个晶粒中塞积的位错少。因应力集中引起的开裂机会较少,有可能在断裂之前承受较大变形量,即表现出较高塑性。

4 结论

(1) 20SiMnCrMo铸钢的晶粒度为9级,晶粒细化可提高材料硬度和强度。

(2) 27SiMn冷却过程中,当冷速大于100℃/s时,凝固组织为铁素体,残余奥氏体,马氏体和少量贝氏体;当冷速在10~100℃/s时,凝固组织主要为铁素体,贝氏体,马氏体和珠光体;当冷速在1~10℃/s时,凝固组织主要为铁素体、珠光体、贝氏体和少量马氏体;当冷速在0.1~1℃/s时,凝固组织主要为铁素体、珠光体和少量贝氏体;当冷速小于0.1℃/s时,凝固组织主要为珠光体和铁素体。

参考文献:

- [1] 任鑫,张若愚,杜学芸,等. 27SiMn钢化学镀Ni-P和Ni-Ce-P性能对比研究[J]. 热加工工艺, 2012, 41(8): 147-149.
- [2] 任鑫,王世臣,王万鹏,等. 27SiMn钢化学镀Ni-P-纳米Al₂O₃研究[J]. 热加工工艺, 2010, 39(24): 152-154.
- [3] 李安铭,李小飞,陈昊. 27SiMn钢奥氏体逆相变亚温淬火[J]. 煤炭学报, 2008, 33(9): 1063-1066.
- [4] 张太超,彭竹琴. 27SiMn钢临界温度淬火高温回火后的力学性能[J]. 金属热处理, 2003, 28(10): 32-34.
- [5] 李智丽,杨维宇,白雅琼,等. 27SiMn钢奥氏体连续冷却转变曲线[J]. 热加工工艺, 2011, 40(22): 45-47.
- [6] 杜哈婷,陈冰泉,牟军伟,等. 轧辊堆焊温度场的动态有限元模拟[J]. 电焊机, 2007, 37(11): 44-48.
- [7] 李晓峰,陈冰泉,黄永溪. JMatPro软件在药芯焊丝W110性能研究中的应用[J]. 热加工工艺, 2010, 39(9): 5-7.
- [8] 闵永安,刘湘江,毛远建. 应用JMatPro软件对比研究两种抽油杆钢的合金化特点[J]. 上海大学学报:自然科学版, 2008, 14(5): 503-508.

(2) 热处理后的20SiMnCrMo钢晶粒细小,表现出较高韧性、强度和塑性,具有优越的综合力学性能。

(3) 20SiMnCrMo钢采用消失模铸造,能有效提高材料致密度,减少铸造缺陷,提高了表面质量。

参考文献:

- [1] 邹健. 高锰钢零件的失效因素分析及其对策[J]. 机械制造, 2011, 49(7): 66-68.
- [2] 柴增田. 生产破碎机锤头的新型抗磨铸钢[J]. 中国铸造装备与技术, 2004(1): 29-32.
- [3] 侯文义,郝俊丽,覃保成. 20SiMnCrMo铸钢的制备及性能初探[J]. 热加工工艺, 2013, 42(1): 29-31.
- [4] 宿成. 低合金高强度结构钢(Q345B)高温力学性能研究[M]. 北京:机械工业出版社, 1995.
- [5] 孔德军,周朝政,胡爱萍. 激光冲击处理对X70管线钢焊接接头力学性能的影响[J]. 吉林大学学报:工学版, 2011, 41(5): 1507-1512.