

基于 JMatPro 软件 15CrMo 渗碳钢淬火组织与热物理力学性能预测

杨永春

(新疆交通职业技术学院 汽车与机电工程学院, 新疆 乌鲁木齐 831401)

摘要:利用 JMatPro 软件,计算了不同渗碳量的 15CrMo 钢淬火组织相组成,热物理、力学性能参数,CCT 曲线及端淬性。结果表明:淬火组织中渗碳体含量随渗碳量的增大而增多,奥氏体化温度随碳含量的增多而降低。在相同温度下,线膨胀系数、热导率、泊松比和密度随渗碳量的增大而减小;相反,比热容和杨氏模量随渗碳量的增大而增大。珠光体、贝氏体、铁素体和马氏体的转变温度均随渗碳量的增加而降低;屈服强度、抗拉强度和洛氏硬度随渗碳量的增大而增大;随距离淬火端面距离的增大,屈服强度、抗拉强度和洛氏硬度明显呈梯度形式递减。

关键词:15CrMo 钢; 渗碳; 热物理性能; CCT 曲线

中图分类号: TG156.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2013)20-0184-04

Prediction of Microstructure and Thermo-physical Mechanical Properties for 15CrMo Carburizing Quenched Steel Based on JMatPro Software

YANG Yongchun

(Department of Automotive Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Vocational & Technical College of Communications, Urumchi 831401, China)

Abstract: The phase composition, thermal physical and mechanical properties, CCT curve and Jominy harden-ability for quenched 15CrMo steel with different C content were simulated by using JMatPro software. The results show that the cementite contents of quenched structure increase with the increase of carburization amount, but the austenitizing temperature decreases with the increase of the C content. At the same temperature, the linear expansion coefficient, thermal conductivity, Poisson's ratio and density decrease with the increase of carburization amount. While the specific heat capacity and Young's modulus increase with the increase of carburization amount. Moreover, the transition temperature of pearlite, bainite, ferrite and martensite reduces with the increase of C content, and the yield strength, tensile strength, rockwell hardness increase with the increase of carburization amount. In addition, with the distance increasing away from the quenching end, the yield strength, tensile strength and rockwell hardness decrease significantly in gradient forms.

Key words: 15CrMo steel; carburization; thermo-physical properties; CCT curve

近年来,随着现代材料科学的发展,非均质金属材料零部件成为研究的热点之一^[1-2]。渗碳是制作非均质材料的常用方法之一^[3-4],通过渗碳处理,提高零部件表面的碳含量,随后又通过淬火、回火处理,使得零件表面与心部得到不同的组织与性能,以满足零部件的使用要求。目前有关采用渗碳工艺制作非均质金属材料的报道较多^[5-6],但鲜有利用现在材料计算科学相关理论对合金钢渗碳过程组织性能进行预测的研究见诸报道。本文以某公司液压机构控制阀中合闸阀杆(材质为 15CrMo)渗碳淬火过程为研

究对象,采用基于现在计算材料科学相关理论基础开发建立的材料相图和性能计算软件 Jmatpro,计算不同含碳量的合金在淬火(包括末端淬火)冷却过程中,几种常用热物理性能和力学性能参数随温度的变化,淬火平衡组织的相组成,以及过冷奥氏体连续冷却转变曲线(CCT 图),旨在为该零件实际渗碳和淬火工艺提供理论指导和必要的的数据支持。

1 合金成分及冷却工艺

实验用 15CrMo 钢的名义成分(质量分数,%)为 0.12~0.18C,0.40~0.70Mn,0.17~0.37Si,0.80~1.10Cr,0.40~0.55Mo,Ni≤0.30,S≤0.035,P≤0.035,Fe 余量。

采用 Jmatpro 软件进行计算时,基于 15CrMo 钢液压机构分闸阀杆实际渗碳工艺设定的碳势分

收稿日期:2013-01-08

作者简介:杨永春(1972-),女,新疆乌鲁木齐人,副教授,硕士,研究方向为机械设计;电话:13999835070;

E-mail: 370378545@163.com

布,以 15CrMo 钢原始合金组成为基础,通过提高合金中的碳含量来替代实际渗碳过程的渗碳量,其他合金元素按照原始百分比进行加权计算。设计出 4 种碳水平 (0.15C,0.30C,0.45C 和 0.60C) 的合金成分,见表 1。

表 1 不同含碳量的合金成分(质量分数,%)
Tab.1 Alloy composition with different carbon contents (wt%)

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	S	P	Fe
0.15	0.500	0.270	0.950	0.48	0.20	0.020	0.020	余量
0.30	0.435	0.235	0.826	0.417	0.174	0.017	0.017	余量
0.45	0.384	0.208	0.731	0.369	0.154	0.015	0.015	余量
0.60	0.345	0.186	0.655	0.331	0.140	0.014	0.014	余量

研究对象在实际热处理工艺中,淬火工艺为 850℃ 保温 40 min 油淬;回火工艺为 180℃ 保温 120 min 空冷。采用 Jmatpro 软件进行计算时,设定热处理温

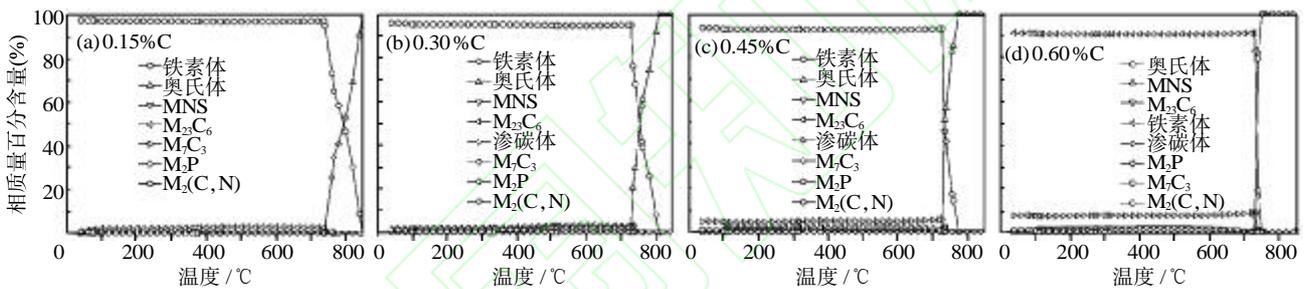


图 1 不同碳含量的 15CrMo 渗碳钢淬火组织中的相组成

Fig.1 Phase composition of 15CrMo carburizing steel quenched structure with different C contents

度 850℃,设定 4 个水平的冷却速率,即 100、10、1 和 0.1℃/s。

2 计算结果分析

2.1 相组成分析

图 1 (a) 为由 JMatPro 软件计算得到的 15CrMo 耐热钢淬火后的平衡相图,图 1(b)~(d)为不同渗碳量的 15CrMo 耐热钢淬火后的平衡相图。图 1 (a)显示,15CrMo 钢 850℃ 的淬火组织由 97.53%铁素体,0.36%碳化物 M_7C_3 ,0.8%碳化物 $M_2(C,N)$,0.95%碳化物 $M_{23}C_6$ 和 0.0543%的 MNS 组成。图 1(b)显示,含碳量为 0.3%的 15CrMo 渗碳钢 850℃ 的淬火后组织由 95.86%铁素体,1.95%渗碳体,0.6%碳化物 M_7C_3 ,1.15%碳化物 $M_2(C,N)$,0.29%碳化物 $M_{23}C_6$ 和 0.0461%的 MNS 组成。图 1(c)显示,碳含量为 0.45%的 15CrMo 渗碳钢 850℃ 的淬火组织由 95.86%铁素

体,1.95%渗碳体,0.6%碳化物 M_7C_3 ,1.15%碳化物 $M_2(C,N)$,0.29%碳化物 $M_{23}C_6$ 和 0.0461%的 MNS 组成。图 1(d)显示,碳含量为 0.6%的 15CrMo 渗碳钢经 850℃ 的淬火组织由 91.21%铁素体,7.59%渗碳体,0.94%碳化物 $M_2(C,N)$ 和 0.0461%MNS 组成。

另外,由图 1 还可看出,淬火组织中渗碳体含量随碳含量的增大而增多;合金的奥氏体化温度随碳含量的增多而降低,对应于碳含量 0.15、0.30、0.45 和 0.60 的合金,奥氏体化温度分别为 900.06、858.27、824.76 和 801.24℃。

2.2 热物理和力学性能参数分析

图 2 为通过 JMatPro 软件计算得到的不同含碳量的 15CrMo 渗碳钢淬火冷却过程热物理性能参数和部分力学性能参数随温度的变化。图 2(a)~(d)显示,线膨胀系数、比热、热导率和泊松比均随温度的降低而减小,室温条件下有最小值。由图 2(e)和(f)可以看出,在淬火冷却过程中,杨氏模量和密度随温度

的降低而增大,室温时达到最大值。另外,在相同的温度点,线膨胀系数、热导率、泊松比和密度随碳含量的增大而减小;相反,比热和杨氏模量随碳含量的增大而增大。

2.3 CCT 曲线分析

图 3 为通过 JMatPro 软件计算得到的不同含碳量的 15CrMo 渗碳钢 CCT 曲线。由图 3 可以看出,在相同的淬火工艺下,钢中珠光体(P)、贝氏体(B)、铁素体(F)和马氏体(M)的转变温度均碳含量的增加而降低。对应碳含量 0.15、0.30、0.45 和 0.60 的合金,珠光体转变温度分别为 744.3、744.0、742.8 和 742.3℃;贝氏体转变温度分别为 593.5、580.7、569.8 和 549.4℃;铁素体转变温度分别为 850.1、808.3、774.8 和 750.5℃;马氏体转化温度分别为 421.2、372.5、338.7 和 273.2℃。

根据图 3 所示的不同碳含量 15CrMo 连续冷却转变曲线(CCT 曲线),归纳对应不同冷却速率的不

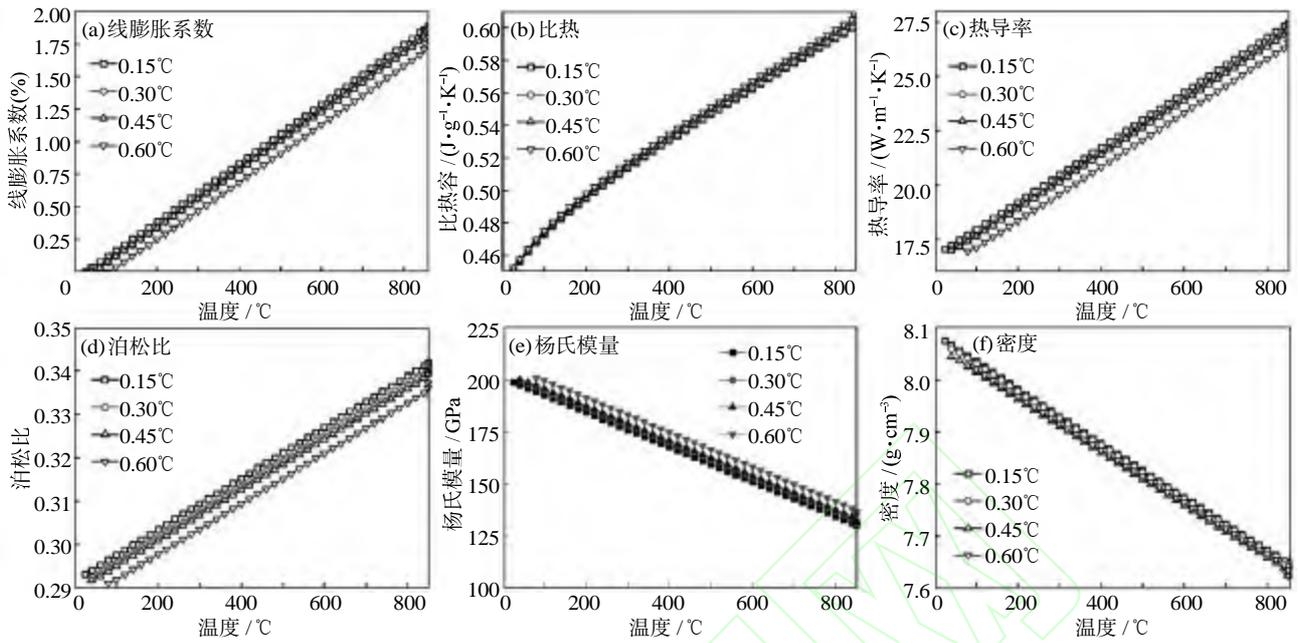


图2 不同碳含量的15CrMo热物、力学性能参数

Fig.2 Effect of C contents on thermo-physical and mechanical property parameters for 15CrMo carburizing steel

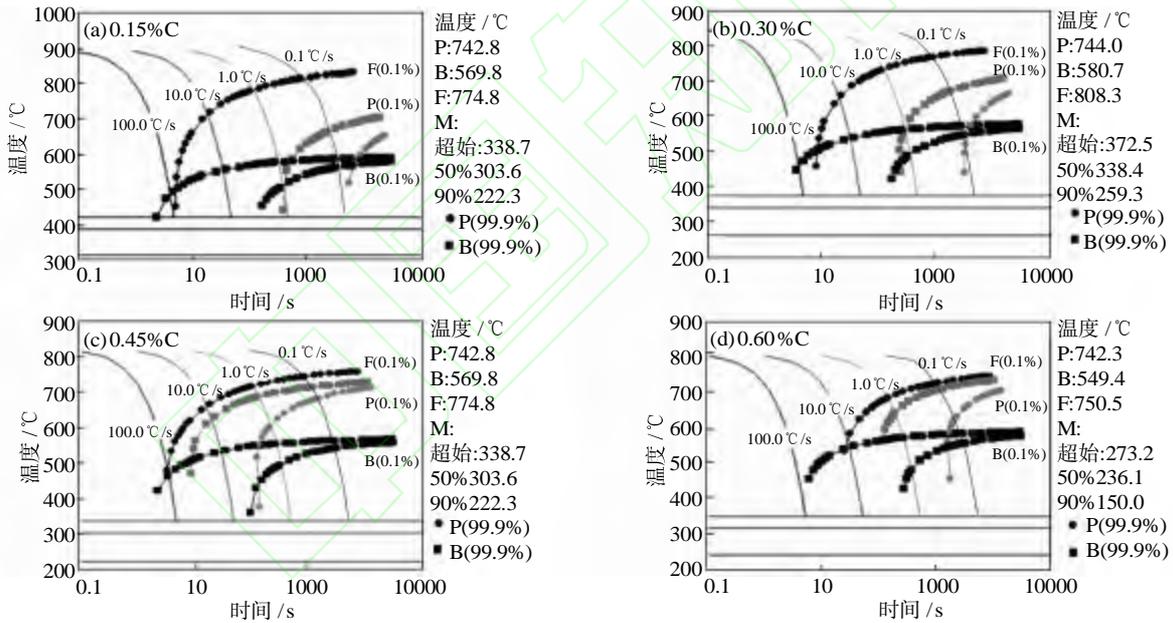


图3 不同碳含量的15CrMo渗碳钢连续冷却转变曲线

Fig.3 CCT curves of 15CrMo carburizing steel with different carburization amount

等碳含量15CrMo合金钢850℃淬火的组织, 详见表2。

表2 不同碳含量的15CrMo钢不同冷却速率下的淬火组织
Tab.2 Quenching structure of 15CrMo steel with different C content under different cooling rates

冷速/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)	100.0	10.0	1.0	0.1
0.15% C	M+B	F+B+M	F+B	F+B+P
0.30% C	M+B	F+B+M	F+B+P	F+B
0.45% C	M+B	F+P+B+M	F+P	F+P
0.60% C	M	B+M	F+B+P	F+P

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4为根据上述15CrMo钢淬火工艺, 采用JMatPro软件计算得到的末端淬火屈服强度(0.2% Proof Stress), 抗拉强度(Tensile Stress), 洛氏硬度(HRC)随淬火端面距离的变化曲线。可看出, 在淬火端面和距离淬火端面相同距离的部位, 15CrMo渗碳钢屈服强度、抗拉强度和洛氏硬度均随渗碳量的增多而增大。对于相同渗碳量的15CrMo钢, 随距离淬火端面距

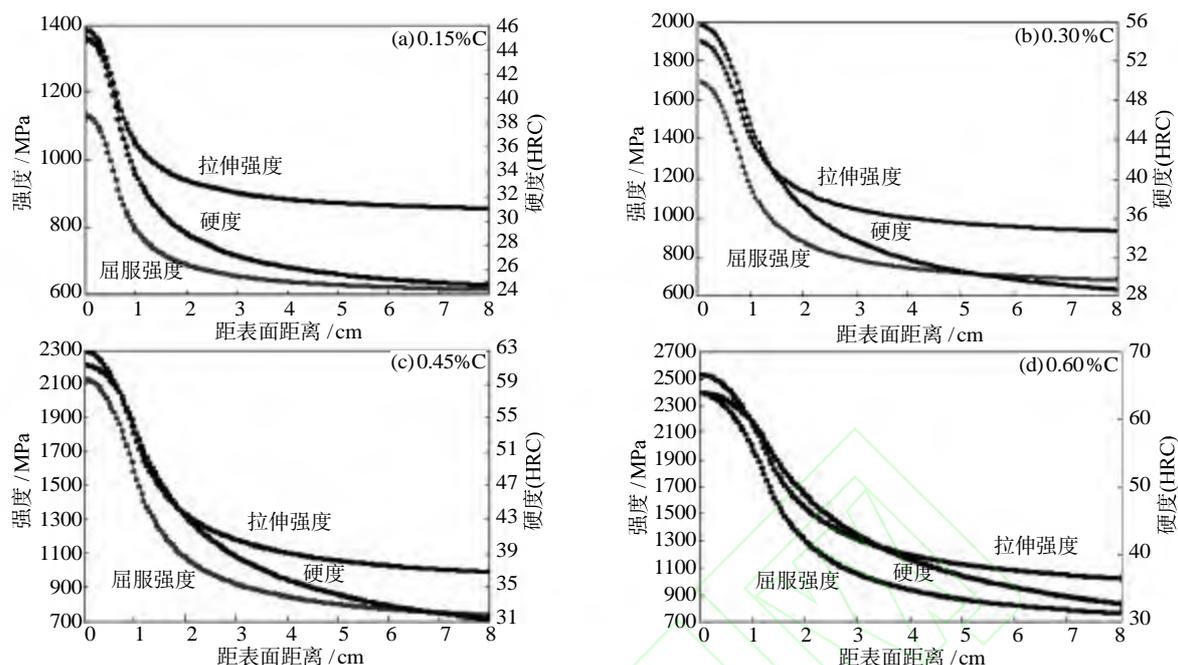


图4 不同渗碳量的15CrMo钢端淬性
Fig.4 Jominy hardenability of 15CrMo carburizing steel with different carburizing amount

离的增大,三者明显呈梯度形式递减。在淬火端面,对应于含碳量为0.15%、0.3%、0.45%和0.6%的试样,三者对应的屈服极限、抗拉极限、洛氏硬度分别为1129 MPa、1384 MPa和44HRC;1693 MPa、1902 MPa和55HRC;2100 MPa、2289 MPa和61HRC;2386 MPa、2531 MPa和63 HRC。在距离淬火端面0~1.5 cm减幅最大,在1.5~8 cm减幅趋于平缓。

3 结论

(1) 随渗碳量的增大,15CrMo钢淬火组织中渗碳体含量增多,合金的奥氏体化温度逐渐降低;对应碳含量0.15%、0.30%、0.45%和0.60%的15CrMo基渗碳钢,奥氏体化温度分别为900.06、858.27、824.76和801.24℃。

(2) 15CrMo渗碳钢淬火冷却过程,在相同的温度点,线膨胀系数、热导率、泊松比和密度随碳渗碳量的增大而减小,而比热容和杨氏模量随渗碳量的增大而增大。

(3) 15CrMo渗碳钢淬火组织中,珠光体、贝氏体、铁素体和马氏体的转变温度均随渗碳量的增加

而降低。

(4) 端淬性计算结果表明,对于相同渗碳量的15CrMo钢,随距离淬火端面距离的增大,屈服强度,抗拉强度和洛氏硬度明显呈梯度形式递减。在淬火端面有最大值;在距离淬火端面0~1.5 cm减幅最大;在1.5~8 cm减幅趋于平缓。

参考文献:

- [1] 刘涛,薛祥义,胡锐. 316L不锈钢/铜梯度复合材料的微观组织与成分分布[J]. 热加工工艺,2011,40(6):84-86.
- [2] 雷斌隆. 评定非均质金属材料机械性能的新途径[J]. 机械工程材料,1991(2):14-17.
- [3] 范镜泓,陈海波. 非均质材料力学研究进展:热点、焦点和生长点-ICHMM2008的观察和启迪[J]. 力学进展,2011,41(5):615-631.
- [4] 王瑾,李瑞涛. 非均质材料的力学性能评价研究[J]. 科技创新导报,2010(15):13-16.
- [5] 田香菊,李祝群. 20Cr2Mn2Mo钢渗碳后空冷开裂原因探讨[J]. 金属热处理,1998(6):45-46.
- [6] 凌国平,马智勇. 气体渗碳动力学研究[J]. 金属热处理,2002(2):36-39. □