DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.04.003

15NiMoSiCr10 钢在柴油机渗碳针阀体上的应用研究

杨　欢[4],冉启燕[4],王　波[4],包　涛[4,5],林文源[1],周桂锋[2],余法松[3]

(1. 中海油能源发展装备技术有限公司深圳分公司 关键设备技术中心,广东 深圳 518054; 2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司 生产作业部, 广东 深圳 518054; 3. 中海石油 (中国) 有限公司深圳分公司 陆丰油田作业区, 广东 深圳 518054; 4. 重庆红江机械有限责任公司 技术中心, 重庆 402160; 5. 重庆红江机械有限责任公司 船舶与海洋工程动力系统国家工程实验室, 重庆 402160)

摘　要:15NiMoSiCr10 是引进用于生产柴油机渗碳针阀体的新钢种。对该钢的化学成分、金相组织以及力学性能等进行了检测分析,探讨了其最佳热处理工艺,并对比研究了 15NiMoSiCr10 与传统的 18CrNi8 钢的抗回火稳定性。结果表明,当回火温度为 300 ℃时,15NiMoSiCr10 针阀体的座面硬度可达 715 HV1 (61 HRC),具有高抗回火稳定性,且金相组织良好;15NiMoSiCr10 可以满足新型高端柴油机对针阀体材料的使用要求,为针阀体选材开辟了新的方向。

关键词:柴油机;15NiMoSiCr10 钢;高抗回火稳定性;渗碳针阀体

中图分类号: TG142　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)04-0319-05

Application Research of 15NiMoSiCr10 Steel on Carburizing Needle Valve Nozzle of a Diesel Engine

YANG Huan[4], RAN Qiyan[4], WANG Bo[4], BAO Tao[4,5], LIN Wenyuan[1], ZHOU Guifeng[2], YU Fasong[3]

(1. Key Equipment Technology Center, CNOOC EnerTech Equipment Technology Co., Ltd., Shenzhen Co., Shenzhen 518054, China; 2. Production Department, CNOOC China Ltd., Shenzhen, Shenzhen 518054, China; 3. Lufeng Oilfield Operation, CNOOC China Ltd., Shenzhen, Shenzhen 518054, China; 4. Technical Center, Chongqing Hongjiang Machinery Co., Ltd., Chongqing 402160, China; 5. National Engineering Laboratory for Marine Power System, Chongqing Hongjiang Machinery Co., Ltd., Chongqing 402160, China)

Abstract: The 15NiMoSiCr10 was a new steel used for producing diesel engine carburizing needle valve nozzle. The chemical composition, microstructure and mechanical properties of the steel were tested and analyzed. The optimum heat treatment process was discussed and the tempering stability of 15NiMoSiCr10 and traditional 18CrNi8 steel was compared. The results show that when the tempering temperature is 300 ℃, the surface hardness of 15NiMoSiCr10 needle valve can reach 715 HV1 (61 HRC) with high tempering resistance and good microstructure. 15NiMoSiCr10 can meet the requirements of new high-end diesel engine for the use of needle valve material, the needle valve nozzle material open up a new direction.

Key words: diesel engine; 15NiMoSiCr10 steel; high tempering stability; carburizing needle nozzle

喷油嘴偶件针阀体是船用柴油机上的关重件之一,其质量的可靠稳定性对柴油机的性能和质量至关重要。德国 BOSCH 在 20 世纪 70 年代研制了 18CrNi8 低碳合金钢用于针阀体的生产。目前,18CrNi8 是重庆红江机械有限责任公司针阀体材料的主要选择之一。18CrNi8 具有良好的力学性能,且热处理工艺操作简单。但是 18CrNi8 材料的抗回火稳定性较差,200 ℃左右回火后硬度便开始降低[1]。柴油机针阀偶件的工作温度在 240～260 ℃,而大功率柴油机针阀偶件的工作温度可达 280～320 ℃[2]。随着柴油机的燃烧压力和功率不断提高,需要开发新材料来满足柴油机的使用需求。针阀体的服役条件苛刻,座面需要较高的硬度来提高疲劳强度和耐磨性[3]。常规渗碳材料在 300 ℃回火温度下硬度急剧下降,导致针阀体座面耐磨性严重降低,使得针阀体发生早期疲劳磨损失效。材料的回火稳定性对使用性能有着重要的影响[4-6]。本文选取具有高抗回火稳定性的 15NiMoSiCr10 用于针阀体,制造研究其渗碳淬火后的抗回火稳定性。

收稿日期: 2020-02-10

作者简介: 杨　欢(1993-),女,苗族,重庆人,硕士,工程师. 研究方向: 材料强化、失效及保护. 电话: 13032370910, E-mail: 1904347510@qq.com

1 试验方法

15NiMoSiCr10 钢原材料直径为 40 mm。15NiMoSiCr10 针阀体的剖面图如图 1 所示，针阀体座面锥度为 59°。

1.1 检测方法

用直读光谱仪(Shimadzu PDA-5500)测量钢的化学成分，高频 C、S 分析仪(Dekai HCS-140)检测 C 元素和 S 元素含量。对 15NiMoSiCr10 钢进行线切割取样，用传统金属制样法进行金相试样的制备。腐蚀剂为 4%硝酸酒精溶液，采用金相显微镜(Leica DM6000M)检测试样的金相组织。维氏硬度的测试在 LECO LM247AT 型显微维氏硬度检测仪上进行，所施加的载荷为 1 kg，加载时间为 10 s。布氏硬度的测试在 GOCE HB(G)-3000 型数显布氏硬度检测仪上进行，所用压头为直径 5 mm 的硬质合金球，施加的载荷为 750 kg，加载时间为 10 s。根据 GB/T 228.1-2010 中的规定，在 SANS SHT-4335 型微机控制电液伺服万能试验机上进行室温拉伸检测。根据 GB/T 229-2007 中的规定，在 Siemens TD400C 型冲击试验机上对试样进行冲击检测。

1.2 针阀体热处理工艺

对 15NiMoSiCr10 针阀体进行热处理，热处理工艺如图 2 所示。针阀体热处理后，垂直于座面表面向里检测座面硬度梯度。以座面表面为基准，用显微维氏硬度计进行自动设点，每个点间隔为 0.1 mm 进行硬度检测。将渗碳后的针阀体试样在 840 ℃进行加热油淬，渗碳所用设备为高气炉，淬火所用设备为真空油淬炉。并在低于 -180 ℃的深冷箱中进行深冷处理，随后在油浴炉中回火(200～300 ℃)。为了试验该材料的抗回火稳定性，回火温度分别选定为 200、250、270、300 ℃。回火时间均为 5 h。回火试验中回火温度为单一变量，其他参数均保持一致。

2 结果与分析

2.1 15NiMoSiCr10 钢原材料成分、组织及性能

2.1.1 化学成分

15NiMoSiCr10 钢原材料主要化学成分如表 1 所示。物理性能临界点：A_{c3} 为 930 ℃，A_{c1} 为 750 ℃，M_s 为 380 ℃。

表1 化学成分分析结果 w(%)
Tab.1 Chemical composition of 15NiMoSiCr10 steel

Fe	C	S	Si	Mn	Cr	P	Mo	Ni	V
余量	0.19	0.009	1.12	0.41	0.90	0.018	1.78	2.58	0.30

2.1.2 力学性能

(1)拉伸性能　15NiMoSiCr10 钢原材料经 840 ℃淬火及 300 ℃回火后的力学性能如表 2 所示。可见，15NiMoSiCr10 钢在 300 ℃回火后仍有较高的抗拉强度以及屈服强度。

(2)硬度　15NiMoSiCr10 原材料硬度如表 3 所

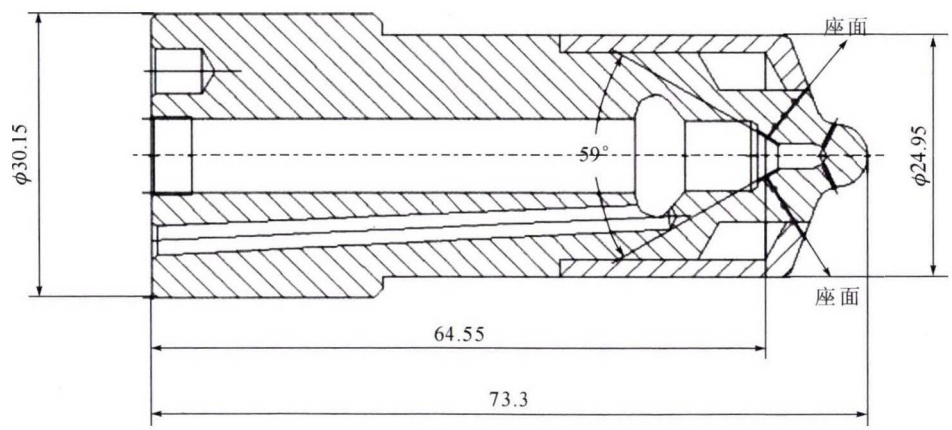


图 1 试验用针阀体剖面图
Fig.1 Profile of needle nozzle for test

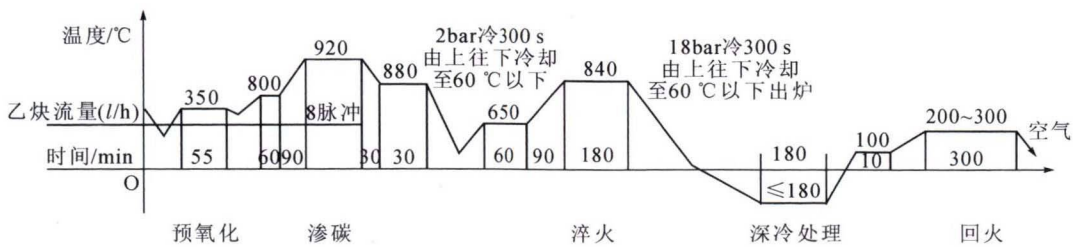


图 2 热处理工艺曲线
Fig.2 Heat treatment process curve

表 2 15NiMoSiCr10 钢的力学性能
Tab.2 Mechanical properties of 15NiMoSiCr10 steel

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击功 (KV_2)/J
1416	1300	12.2	60.3	120

表 3 15NiMoSiCr10 钢的硬度
Tab.3 Hardness of 15NiMoSiCr10 steel

检测位置	第 1 点	第 2 点	第 3 点
布氏硬度(HBW)	289.6	295.5	290.5
维氏硬度 /HV1	296	296	290

示，布氏硬度在 290 HBW 左右，维氏硬度在 295 HV1 左右。

2.1.3 组织

(1)非金属夹杂物　15NiMoSiCr10 钢原材料夹杂物良好,无可见塑性夹杂物。A 类(硫化物类)、B 类(氧化铝类)、C 类(硅酸盐类)、DS 类(单颗粒球状类)夹杂物均为 0 级,D 类(球状氧化物类)夹杂物为 0.5 级。

(2)带状　15NiMoSiCr10 钢原材料的带状组织为 3 级,如图 3 所示。

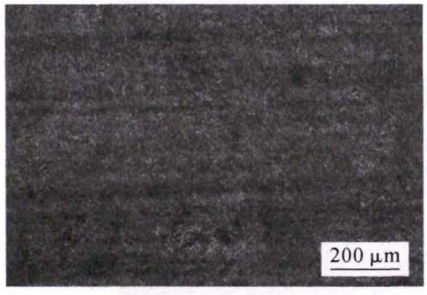


图 3 15NiMoSiCr10 钢的带状组织
Fig.3 Banded structure of 15NiMoSiCr10 steel

(3)金相组织　15NiMoSiCr10 钢原材料为退火态,金相组织如图 4 所示。组织为珠光体与铁素体的混合组织,组织均匀,晶粒度在 6 级左右。

2.2 15NiMoSiCr10 针阀体热处理后的组织与性能

2.2.1 性能

15NiMoSiCr10 针阀体在不同温度回火后座面的硬度值 HV1 如表 4 所示,硬度梯度曲线如图 5 所示。当回火温度从 200 ℃增加到 300 ℃,距离针阀体座面 0.1 mm 处的硬度值从 750 HV1(62 HRC)

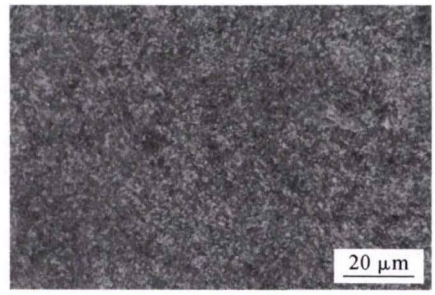


图 4 15NiMoSiCr10 钢原料的金相组织
Fig.4 Metallographic structures of 15NiMoSiCr10 steel

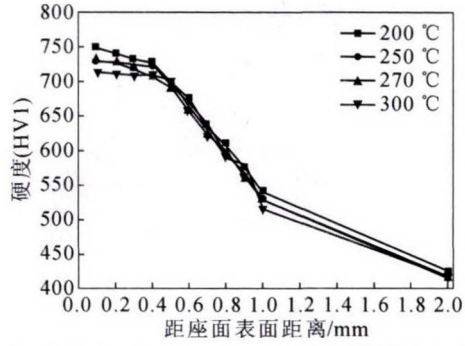


图 5 15NiMoSiCr10 针阀体座面的硬度梯度曲线图
Fig.5 Hardness gradient curve of 15NiMoSiCr10 needle nozzle pyramidal surface

降低到了 715 HV1 (61 HRC),HV 550 处的层深从 0.98 mm 降低到了 0.95 mm。在不同的回火温度下,阀体心部硬度变化不大。

为便于对比，对 18CrNi8 针阀体渗碳淬火后的抗回火稳定性进行了研究，结果如表 5 所示。18CrNi8 在 180 ℃的回火温度下座面硬度可达 740 HV1 (62 HRC),随着回火温度的提高,硬度显著降低。当回火温度增加到 300 ℃,18CrNi8 针阀体座面的硬度降低到 620 HV1 (56 HRC)。

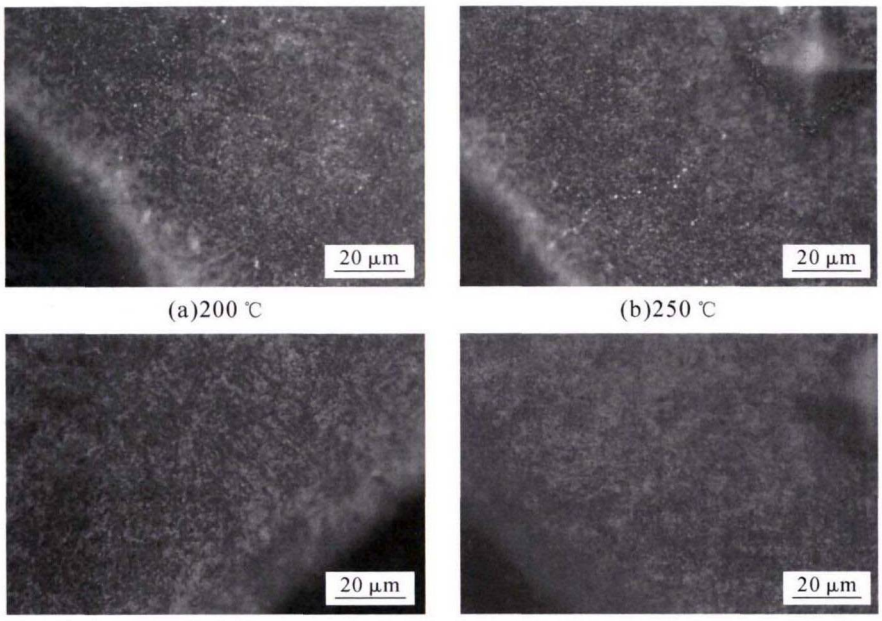
在 300 ℃的回火温度下,15NiMoSiCr10 针阀体座面硬度可达 715 HV1 (61 HRC), 可见 15NiMoSiCr10 材料的抗回火稳定性比 18CrNi8 材料高。

2.2.2 金相组织

15NiMoSiCr10 针阀体在不同回火温度下座面的金相组织如图 6 所示。在不同的回火温度下,渗层组织均为回火马氏体+碳化物+少量残余奥氏体。渗层组织的马氏体呈细针状,碳化物颗粒尺寸较小,残余奥氏体含量低。图 7 所示为 15NiMoSiCr10 针阀

表4 15NiMoSiCr10针阀体硬度值(HV)
Tab.4 Hardness (HV) of 15NiMoSiCr10 steel needle nozzle

回火温度 /℃	距座面表面距离 /mm										心部 /HV1	HV550 层深 /mm
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0		
200	750	741	732	728	699	675	635	608	577	542	425	0.98
250	730	728	724	720	695	664	638	602	568	529	417	0.96
270	730	728	720	707	691	660	625	597	562	530	415	0.96
300	715	712	710	710	702	668	631	592	580	517	410	0.95

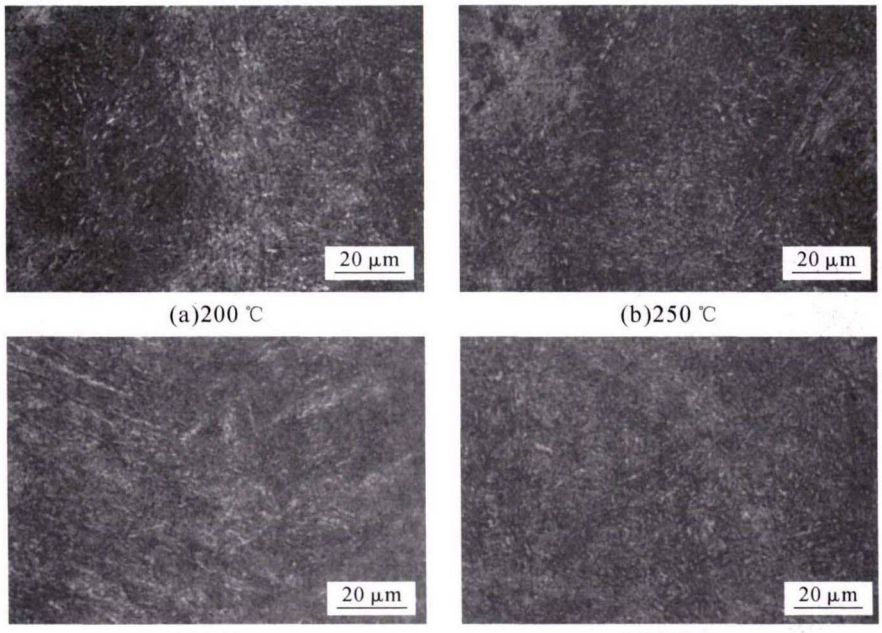


(a)200 ℃ (b)250 ℃

(c)270 ℃ (d)300 ℃

图 6 不同回火温度下座面处组织

Fig.6 Microstructure of pyramidal surface at different tempering temperatures



(a)200 ℃ (b)250 ℃

(c)270 ℃ (d)300 ℃

图 7 不同回火温度下心部组织

Fig.7 Microstructure of core at different tempering temperatures

表5 18CrNi8针阀体座面硬度值(HV1)

Tab.5 18CrNi8 needle nozzle pyramidal face hardness

回火温度/℃	180	220	240	260	280	300	320
硬度值(HV1)	740	720	690	670	650	620	590

体在不同回火温度下心部的金相组织。在不同的回火温度下，心部组织均为低碳马氏体+少量游离铁素体,组织均匀。

根据 GB/T 25744-2010 对组织进行评级，结果如表 6 所示。可见，回火温度从 200 ℃增加到 300 ℃,金相组织良好且无明显变化。

表6 15NiMoSiCr10针阀体组织评级

Tab.6 15NiMoSiCr10 needle nozzle microstructure rating

回火温度/℃	回火马氏体/级	碳化物/级	残余奥氏体/级	心部组织/级
200	2	1	1	2
250	2	1	1	2
270	2	1	1	2
300	2	1	1	2

3 效果试验验证

通过对 15NiMoSiCr10 针阀体的试验，试制出

一批针阀体用于柴油机并进行追踪和了解。该批15NiMoSiCr10 针阀体已使用 3 000 多小时，至今未发生任何失效现象，满足相应针阀体使用寿命要求。

4　结论

(1)回火温度从 200 ℃增加到 300 ℃，距离15NiMoSiCr10 针阀体座面 0.1 mm 处的硬度值从750 HV1 (62 HRC) 降低到 715 HV1 (61 HRC)，HV550 处的层深从 0.98 mm 降低到 0.95 mm。硬度和层深的降低幅度都较小；不同的回火温度对心部硬度影响不大。

(2)回火温度从 200 ℃增加到 300 ℃，不同回火温度对 15NiMoSiCr10 材料的显微组织影响不大，金相组织良好。

(3)15NiMoSiCr10 钢有高抗回火稳定性，回火温度可达 300 ℃，能够满足相应针阀体使用寿命要求，为针阀体以后的选材开拓了新的方向。

参考文献：

[1] 王达生，许凤鸣. 18CrNi8 材料针阀体渗碳热处理工艺试验[J]. 机械产品与科技，2006 (2): 23-25.

[2] 陈留柏. 喷油嘴新材料 18CrNi8 的选用及热处理工艺特点的探讨[J]. 内燃机燃油喷射和控制，1997 (2): 24-27.

[3] 周兴成，刘兴跃. 18CrNi8 针阀体内固外气渗碳和高压气淬[J]. 内燃机燃油喷射和控制，1998 (3): 47-50.

[4] 欧阳志，陈明，朱亲江，等. 新型高强度弹簧钢 52CrMnBA 的回火稳定性试验研究[J]. 江西冶金，2015, 35 (2): 1-4.

[5] 胡春东，孟利，陆恒昌，等. 3Cr-3Mo 与 H10MOD 钢回火稳定性[J]. 材料热处理学报，2016, 37 (12): 114-120.

[6] 江锋，周小平，胡心彬. 新型热作模具钢 HG1 的回火稳定性研究[J]. 热处理，2009, 24 (2): 54-56.

诚聘英才

大风起兮"梦"飞扬，安得猛"士"兮守四方！

只要你有梦想，有才华，有担当，尊龙就能给你翱翔的广阔天空！

青岛尊龙耐火材料有限公司是专业服务于铸造业的知名生产厂商。是中国铸造协会授予的"中国铸造用耐火材料生产基地"和"全国铸造材料金鼎奖(酸性炉衬料)"荣誉称号的唯一获得者。根据业务发展需要，面向全国范围诚聘以下销售管理人材：

大区经理 5 名

岗位简述：

1.省际范围的业务开发、维护及本区域销售团队的建设和管理

2.对本区域销售指标和的完成和利润情况负总责

薪资：底薪 + 提成 + 区域总利润绩效(含职务补贴)

服务中心经理 4 名(男女不限)

岗位简述：

1.服务中心人、财、物全面管理和调配

2.负责开发、服务、维护中心所辖区域内的所有客户

3.对公司下达的销售和利润指标负总责

区域范围：以服务中心为圆心，半径 100 公里的圆形范围

薪资：准承包制(底薪 + 提成 + 中心利润分红)

任职资格

诚信正直、公正担当，事业心和责任心强。28-45 岁，本科以上学历；六年以上销售工作经验，三年以上销售团队管理经验；同时具备营销策划、渠道拓展、领导团队等能力；能够创建并培育一支向心力强、骁勇善战的销售、服务队伍。

联系方式

王女士：15165227137　吕　总：15215326137

公司地址：青岛胶州市北关工业园山东道 50 号