冷作模具钢表面的钒-钛复合渗工艺研究

刘卫东，林翠青

（广州南洋理工职业学院，广东 广州 510925）

摘　要：以五氧化二钒为供钒剂、二氧化钛为供钛剂，采用不同时间进行 Cr12MoV 冷作模具钢表面钒－钛复合渗，并研究显微组织、相结构、耐磨损性能和耐腐蚀性能。结果表明，复合渗温度 890 ℃可以实现 Cr12MoV 冷作模具钢表面钒－钛复合渗，复合渗涂层由 VC、TiC 和少量的 V_8C_7 组成。为提高 Cr12MoV 冷作模具钢的耐磨损性能和耐腐蚀性能，复合渗时间优选为 7 h。

关键词：冷作模具钢；复合渗；钒－钛复合渗；相结构；耐磨损性能
中图分类号：TF841.3，TF823，TG156　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004－7638(2016)01－0061－04
DOI：10.7513/j.issn.1004－7638.2016.01.013

Vanadium-titanium Composite Infiltration Process on the Surface of Cold Working Die Steel

Liu Weidong，Lin Cuiqing

(Guangzhou Nanyang Polytechnic，Guangzhou 510925，Guangdong，China)

Abstract: Vanadium-titanium composite infiltration coating was produced on the surface of Cr12MoV cold working die steel for different time respectively with V_2O_5 and TiO_2 as vanadium and titanium donor，and the microstructure，phase structure，corrosion and wear resistance were tested and analyzed. The results show that vanadium-titanium composite infiltration coating can be successfully produced on the surface of Cr12MoV cold working die steel at 890 ℃，and the composite infiltration coating is composed of VC、TiC and a spot of V_8C_7. To improve the corrosion resistance and wear resistance of cold working die steel，the composite infiltrating time was optimized at 7 h.

Key words: cold working die steel，composite infiltration process，vanadium-titanium composite infiltration，phase structure，wear resistance

0　引言

冷作模具钢是一种非常重要的钢材，广泛用于制造修边模、落料冲孔模、冷镦模、冷挤压模、压弯模、拉丝模、冲头模、剪刀模等[1]。冷作模具钢制造的模具主要失效原因有磨损、断裂、变形等[2-3]。如何提高冷作模具钢的耐磨损性能、抗冲击能力，是材料工程师面临的一个重要技术课题。刘振天等[4]研究了不同截面尺寸的 Cr12Mo1V1(D2)冷作模具扁钢的组织和性能。李海东等[5]研究了热处理对 2CrMo 冷作模具钢组织与性能的影响。李诚等[6]基于短时渗硼进行了 DC53 冷作模具钢的强韧化研究。表面处理是提高冷作模具钢综合性能的有效途径。为此，笔者尝试采用钒－钛复合渗工艺对冷作模

收稿日期：2015－09－06
基金项目：广东省高等职业教育教学改革项目(201401326)。
作者简介：刘卫东(1975—)男，湖南邵阳人，讲师，高级技师，主要从事模具设计与制造、机械制造工艺研究。

具钢进行了表面处理。

1 试验材料与方法

试验基材为 Cr12MoV 冷作模具钢。经 ARL3460 型直读光谱仪和 GC-6890A 型硫磷分析仪测试，基材的化学成分如表 1 所示。在 SX2-2.5-10 型箱式电阻炉中进行 Cr12MoV 冷作模具钢的表面钒-钛复合渗处理，复合渗温度为 890 ℃，复合渗时间分别为 5、7、9 h。

复合渗的工艺流程如图 1 所示。复合渗原料由基盐、还原剂、活化剂、供钒剂、供钛剂组成，原料配比如表 2 所示。所用原料均为工业级原料，硅粉粒径为 25~45 μm。

Cr12MoV 冷作模具钢试样表面的钒-钛复合渗涂层横截面显微组织观察，采用 PG18 型金相显微镜。试样表面的复合渗涂层的相结构，采用 D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪进行测试与分析，扫描范围为 10°~90°、扫描速度为 10°/min。试样的耐磨损性能采用 MFT-3000 型摩擦磨损试验机进行测试，测试温度为室温、磨损转速为2 500 r/min、磨损时间为 10 min，并用 EVO18 型扫描电子显微镜(SEM)观察磨损试样的表面形貌。试样的耐腐蚀性能采用 ELDYCS-354 型电化学工作站进行测试，测试温度为室温、电解液为 5%氯化钠溶液、扫描速度为 0.001 V/s、扫描范围为-1.2~-0.2 V。

表 1 冷作模具钢的化学成分

Table 1 Chemical composition of the cold working die steel %

C	Cr	Mo	V	Si	Mn	S	P	Fe
1.596	12.184	0.524	0.216	0.304	0.247	0.017	0.012	余量

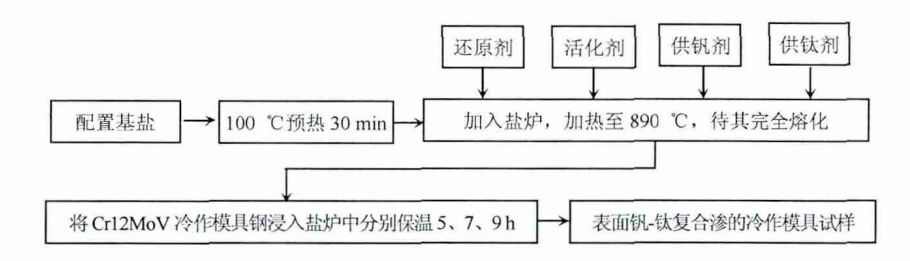


图 1 试样的复合渗工艺流程

Fig.1 Composite infiltration process of the sample

表 2 复合渗的原料配比

Table 2 Raw material ratio of the composite infiltration %

基盐		还原剂		活化剂	供钒剂	供钒剂
氯化钠	氯化钡	硅粉	碳化硼	氟化钠	五氧化二钒	二氧化钛
6.5	58.5	2.5	2.5	10	10	10

2 试验结果及讨论

2.1 显微组织

采用不同复合渗时间的 Cr12MoV 冷作模具钢表面的钒-钛复合渗涂层横截面显微组织如图 2 所示。从图 2 可以看出，复合渗时间不同，Cr12MoV 冷作模具钢表面的钒-钛复合渗涂层组织表现出明显的差异。当复合渗时间较短(5 h)时，钒-钛复合渗涂层较薄、涂层均匀性较差、孔洞较多、涂层质量较差。当复合渗时间较长(9 h)时，钒-钛复合渗涂层较厚、无明显孔洞，但涂层均匀性较差、有少部分发黑。当复合渗时间为 7 h 时，钒-钛复合渗涂层较均匀、无明显孔洞、涂层厚度较适中，涂层质量较好。

2.2 相结构

采用不同复合渗时间的 Cr12MoV 冷作模具钢表面的钒-钛复合渗涂层的 XRD 分析结果如表 3 所示。图 3 是 Cr12MoV 冷作模具钢进行 7 h 表面钒-钛复合渗涂层的 XRD 图谱。从表 3 和图 3 可以看出，当复合渗时间从 5 h 延长至 9 h，Cr12MoV 冷作模具钢表面的钒-钛复合渗涂层的相结构未发生变化，都是由 VC、TiC 和少量的 V_8C_7 组

成。由此可以看出，复合渗时间 Cr12MoV 冷作模具钢表面的钒-钛复合渗涂层的相结构无明显影响。这主要是因为复合渗时间的长短对钒、钛的碳化物种类的形成无直接影响，改变复合渗时间无法改变碳化物种类。

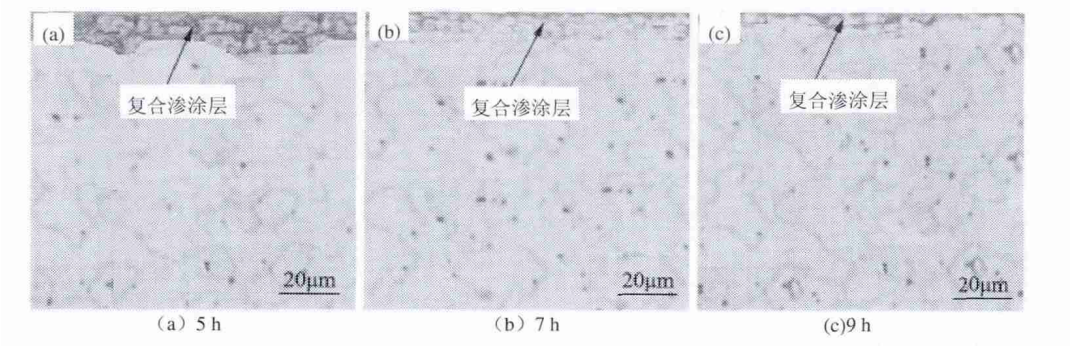


图 2　采用不同复合渗时间的涂层显微组织

Fig.2　Microstructure of the coatings with different composite infiltrating time

表 3　涂层的 XRD 分析结果

Table 3　XRD analysis results of the samples

复合渗时间/h	物相组成
5	VC、V_8C_7、TiC
7	VC、V_8C_7、TiC
9	VC、V_8C_7、TiC

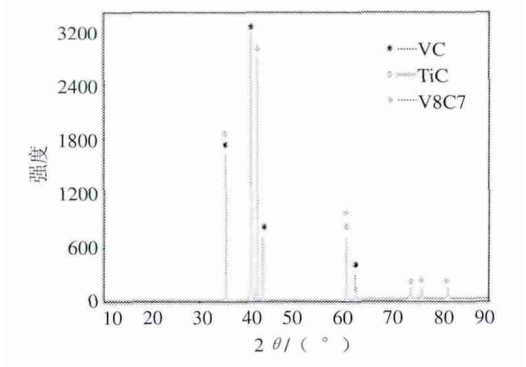


图 3　复合渗 7 h 试样的 XRD 图谱

Fig.3　XRD of the sample with composite infiltrating for 7 h

2.3　耐磨损性能

采用不同复合渗时间进行表面钒-钛复合渗的 Cr12MoV 冷作模具钢试样，在室温进行磨损试验，试验结果表明：复合渗时间过短或过长，都不利于改善 Cr12MoV 冷作模具钢的耐磨损性能。与未进行表面钒-钛复合渗的 Cr12MoV 冷作模具钢相比，复合渗 5 h 的冷作模具钢的磨损体积从 112×10^{-3} mm^3 减小至 96×10^{-3} mm^3，减小了 14.28%；复合渗 7 h 的冷作模具钢的磨损体积从 112×10^{-3} mm^3 减小至 18×10^{-3} mm^3，减小了 83.93%；复合渗 9 h 的冷作模具钢的磨损体积从 112×10^{-3} mm^3 减小至 77×10^{-3} mm^3，减小了 31.25%。图 4 是上述表面钒-钛复合渗的 Cr12MoV 冷作模具钢试样耐磨损试验后的表面形貌 SEM 照片。从图 4 可以看出，未进行表面钒-钛复合渗的 Cr12MoV 冷作模具钢在磨损试验后表面出现较多的起皮和凹坑，磨损现象很严重。复合渗 5 h 的冷作模具钢磨损试验后表面有少量的凹坑和较多的起皮，磨损情况有所改善。

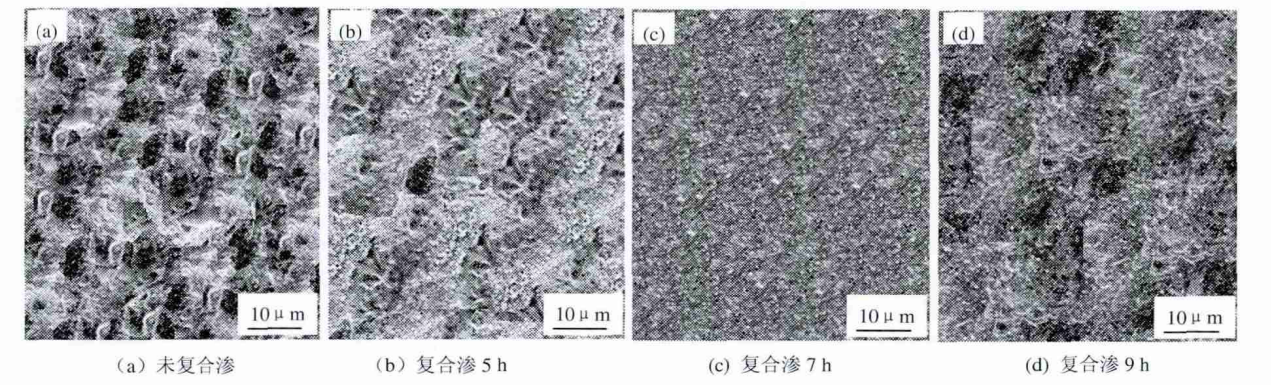


图 4　试样磨损试验后的表面形貌 SEM 照片

Fig.4　SEM of the samples' surface after wear test: without composite infiltrating (a) and with composite infiltrating for 5 h (b), 7 h (c), 9 h (d)

复合渗 7 h 的冷作模具钢磨损试验后表面无明显的起皮和凹坑，仅有磨痕和少量的磨屑，磨损现象最轻微。复合渗 9 h 的冷作模具钢磨损试验后表面有较多的凹坑和少量的起皮，磨损情况较 7 h 复合渗试样更为严重。由此可以看出，为了获得良好的耐磨损性能，Cr12MoV 冷作模具钢在表面钒-钛复合渗时需选择合理的复合渗时间，复合渗时间不宜过长也不宜过短。从提高 Cr12MoV 冷作模具钢耐磨损性能出发，表面钒-钛复合渗的时间优选为 7 h。

2.4 耐腐蚀性能

采用不同复合渗时间进行表面钒-钛复合渗的 Cr12MoV 冷作模具钢试样的耐腐蚀性能测试结果，如表 4 所示。

从表 4 可以看出，随着复合渗时间从 5 h 延长至 9 h，Cr12MoV 冷作模具钢试样的腐蚀电位先正移后负移。我们都知道，腐蚀电位愈正，材料的耐腐蚀性能越好；腐蚀电位愈负，材料的耐腐蚀性能越差[7]。因此，可以认为表面钒-钛复合渗时间过长或过短都不利于改善 Cr12MoV 冷作模具钢的耐腐蚀性能。从提高 Cr12MoV 冷作模具钢耐腐蚀性能角度出发，表面钒-钛复合渗的时间优选为 7 h。

表 4 试样的耐腐蚀性能测试结果

Table 4 Test results of the sample's corrosion resistance

复合渗时间/h	腐蚀电位/V
5	−1.042
7	−0.837
9	−0.963

3 结论

1) 以五氧化二钒为供钒剂、二氧化钛为供钛剂，在 890 ℃可以实现 Cr12MoV 冷作模具钢表面钒-钛复合渗，复合渗涂层由 VC、TiC 和少量的 V_8C_7 组成。为提高 Cr12MoV 冷作模具钢的耐磨损性能和耐腐蚀性能，表面钒-钛复合渗时间优选为 7 h。

2) 与未进行表面钒-钛复合渗的 Cr12MoV 冷作模具钢相比，复合渗 5、7、9 h 的冷作模具钢磨损体积分别减小 14.28%、83.93%、31.25%。

3) 随表面钒-钛复合渗时间从 5 h 延长至 9 h，Cr12MoV 冷作模具钢的腐蚀电位先正移后负移，冷作模具钢的耐腐蚀性能先提高后下降。

参考文献

[1] Zhu Ximing.Study on performance optimization and application method of the cold-working die steel [J] .Machinery Design & Manufacture,2014(4):248-251.
(祝溪明.冷作模具钢性能优化及应用研究 [J] .机械设计与制造,2014(4):248-251.)

[2] Zhao Baisen.Properties and application status of welding repair of cold-working die steel [J] .Hot Working Technology,2013,42(19):8-11.
(赵柏森.冷作模具钢特性及焊接修复应用现状 [J] .热加工工艺,2013,42(19):8-11.)

[3] Kong Dejun,Xie Chunyang.Analysis of surface-interface of boronized layer on Cr12MoV cold-worked die steel [J] .Acta Armamentarii,2015,36(3):571-576.
(孔德军,谢春洋.Cr12MoV 冷作模具钢渗硼层表面与界面分析 [J] .兵工学报,2015,36(3):571-576.)

[4] Liu Zhentian,Chi Hongxiao,Ma Dangshen,*et al*.Structure and properties of (30~90) mm × (400~605) mm cold-working die flat steel Cr12Mo1V1 (D2) [J] .Special Steel,2015,36(1):65-68.
(刘振天,迟宏宵,马党参,等.(30~90) mm×(400~605) mm Cr12Mo1V1(D2) 冷作模具扁钢的组织和性能 [J] .特殊钢,2015,36(1):65-68.)

[5] Li Haidong,Qi Zhengfeng.Effects of heat-treatment on microstructure and properties of cold working die steel [J] .Special Casting & Nonferrous Alloys,2015,35(4):348-351.
(李海东,戚正风.热处理对冷作模具钢的组织与性能影响 [J] .特种铸造及有色合金,2015,35(4):348-351.)

[6] Li Cheng,Jie Xiaohua,Zhang Yanmei,*et al*.Strengthening and toughening of DC53 cold working die steel by short time boriding [J] .Transactions of Materials and Heat Treatment,2014,35(9):188-194.
(李诚,揭晓华,张艳梅,等.DC53 冷作模具钢基于短时渗硼的强韧化 [J] .材料热处理学报,2014,35(9):188-194.)

[7] Wang Junshan,Shi Peiyang,Liu Fenglian,*et al*.Effect of element Ni on atmospheric corrosion behavior of high-strength weathering steel [J] .Iron Steel Vanadium Titanium,2013,34(6):106-109.
(王俊山,史培阳,刘凤莲,等.镍元素对高耐候钢大气腐蚀行为的影响 [J] .钢铁钒钛,2013,34(6):106-109.)

编辑 余文华