16Mo3堆焊工艺研究

李宏　富强

【摘要】针对推焦杆中滑履装置中，如何在16Mo3材质上堆焊出耐磨层硬度达到58～60HRC的堆焊工艺研究，为其他此类材质和高硬度要求的堆焊产品，提供了借鉴。

1. 概述

推焦车上最大的机械部件就是推焦杆，一般国内大中型的焦炉车辆大多是由我们集团的大连重工起重公司设计制造，推焦杆的钢种也选择比较特殊能够耐高温的材料。

本文主要以我公司设计制造的7.63m推焦杆为例，介绍推焦杆-滑履部件中，如何在耐高温材料16Mo3上，堆焊出耐磨层硬度要求为58~60HRC的堆焊工艺。

2. 原材料及焊接性分析

（1）材料　根据图样要求，堆焊层基础底板采用厚度为100mm的16Mo3材料，供货状态为正火探伤板，探伤标准符合SEL072之2级进行100%UT合格，其化学成分及力学性能如表1、表2所示。

（2）焊接性分析 冷裂纹：16Mo3属于钼珠光体耐热钢，主要合金元素Mo、Mn、Cr、Ni等都为熔点高、自扩散激活能力大的元素，都能提高钢的淬硬性，其作用机理是延迟了钢在冷却过程中的转变，降低临界冷却速度，提高过冷奥氏体的稳定性，使得淬硬性倾向增大。堆焊过程中，当冷却速度快时，在氢的作用下就会导致冷裂纹。

再热裂纹：16Mo3对再热裂纹敏感，在500~700℃的敏感温度区间内，容易产生再热裂纹，它的形成与元素含量、焊接参数、拘束应力以及焊后热处理参数有关。例如再热裂纹倾向较高的热强钢，当采用高的热输入焊接方法焊接时，即使焊后未做热处理，在高拘束应力的作用下焊缝层间或堆焊层下过热区也会产生再热裂纹。

熔合区脆变强度降低：堆焊层与基体之间的熔合区类似于异种钢焊接，其化学成分介于基体和堆焊层之间，性能也不同于基体。当热强钢及堆焊层在370~560℃温度区间长期工作时，沿熔合线会出现碳迁移现象，导致高温持久强度降低，有时在熔合区也会出现延性很低的脆性层，在冲击载荷的作用下，容易出现堆焊层剥离。

综上所述，16Mo3材料在堆焊前，表面磁粉探伤；堆焊时需要预热、控制层间温度，制定严格的堆焊工艺，避免冷裂纹、再热裂纹的产生。

3. 堆焊层硬度及材料要求

（1）硬度要求　图样要求堆焊层硬度58~60HRC。由于此堆焊层硬度、抗磨损能力要求较

表1 化学成分熔炼分析（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Cu	Ni	Mo
0.12~0.2	≤0.35	0.40~0.90	≤0.025	≤0.010	—	≤0.012	≤0.30	≤0.30	≤0.30	0.25~0.35

表2　力学性能（以100mm为例，适用于横向试样）

一般交货条件	钢材厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）
+N	60＜t≤100	≥240	430~560	≥22

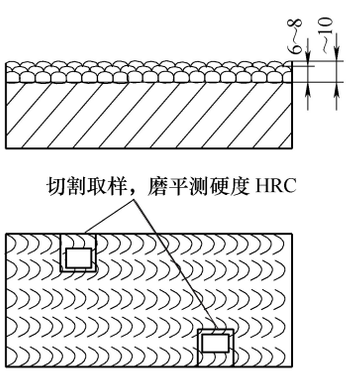
高，但脆性也较大，所以焊接参数的设置需仔细。

（2）堆焊材料　依据DIN8555-碳钢、合金钢堆焊材料标准，选择合金成分或强度级别较高的焊接材料，相近尤其是高温性能优于母材，可以防止再热裂纹产生；还需要考虑堆焊材料与基体热膨胀系数的差异，避免在焊接和热处理过程中产生裂纹。综合考虑焊接性与经济性，可以选择Fluvofil 58堆焊焊丝，或者GFC－103 CO_2气体保护耐磨堆焊药芯焊丝，都可以满足硬度要求。

4. 堆焊焊接工艺的制定

（1）焊评　制备同材质16Mo3试板，调节参数进行堆焊，焊后取样两处（见附图），磨平做硬度试验检测，经检测满足性能要求后（见表3），出具合格的焊接工艺评定报告WPQR，以及编制焊接工艺指导书WPS指导生产。

（2）堆焊前准备　对于滑履结构焊后退火消应力、温度退火和保温时间根据公式计算，选择退火消应力温度580~620℃，保温2h；退火后对待堆焊层基体喷砂，加工至要求厚度和表面粗糙



堆焊厚度要求及取样位置

表3 堆焊层焊缝金属硬度值（HRC）

	1	2	3	4	5
取样一	60	60.5	61.5	61.5	61.5
取样二	60.5	61.0	60.5	61.0	61.5

表4 堆焊层焊接参数

层	焊接方法	焊材牌号	规格/mm	电流种类与极性	焊接电流/A	电弧电压/U	焊接速度/mm·min^{-1}
1~3	MAG	GFC－103	ϕ 1.6	DC(-)	280~300	25~27	300~350

度后，清除表面水、锈、油渍等杂质，准备堆焊。

（3）堆焊前预热及层温控制　预热是有效防止此类钢种出现冷裂纹和热裂纹的手段之一。预热可以减缓冷却速度，适当延长$t_{8/5}$冷却时间，减少出现淬火组织的几率；同时有利于氢的逸出。预热温度应根据材料的化学成分、焊缝金属内的扩散氢含量等因素来确定。根据ISO17671－2标准，选择预热温度120~150℃，层间温度≤150℃，堆焊后采用陶瓷纤维棉覆盖，保温缓冷。

（4）焊接过程控制　按照焊接工艺规程，严格控制参数进行堆焊。由于堆焊层硬度高，焊后磨平表面有难度，故焊后不做加工磨削处理，需要在过程中严格控制焊缝成形。为了保证焊接质量，减小母材对熔敷金属的稀释，以及堆焊层本身厚度10mm要求，故分三层堆焊，第一层与第三层要沿长度方向堆焊，但焊接方向相反，第二层必须与第一层堆焊方向垂直。

（5）焊后检测　通过对堆焊层进行无损探伤及硬度检测，符合图样质量要求。

5. 结语

通过对钼珠光体耐热钢16Mo3上堆焊出高硬度要求（58~60HRC）的耐磨层的堆焊工艺研究，制定了合理的焊接参数、预热温度、层间温度以及后热措施，避免堆焊层及母材出现冷裂纹及再热裂纹等焊接缺陷，满足了图样焊接质量要求，为同类型材料及硬度要求的堆焊工艺制定提供了参考价值。

参考文献：

[1] 欧洲标准化委员会.EN10028－2 压力容器用钢扁平产品—第二部分：规定高温性能的非合金和合金钢[S].2003.

[2] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册[M]. 北京：机械工业出版社，2009.

作者简介：李宏，大连华锐重工集团股份有限公司焊接技术研究所；富强，大连华锐重工集团股份有限公司钢构设备厂技术部。

MW 20150118