05Cr17Ni4Cu4Nb阀杆堆焊硬质合金断裂分析

刘智民，李斌，赵龙龙

摘要：05Cr17Ni4Cu4Nb阀杆受径向力，在阀杆关键部位密封面堆焊层在熔合线附近发生断裂。通过拉伸、冲击、金相及硬度检测分析，查找阀杆断裂的原因。

关键词：沉淀硬化不锈钢；断裂；金相组织

1. 概述

注入阀阀杆05Cr17Ni4Cu4Nb，为提高密封面耐磨、耐冲刷性能，在关键部位密封面堆焊ERCrCo-A。对热处理后发生弯曲变形的阀杆进行校直时，多根ϕ25mm阀杆全部在小端ϕ21mm堆焊层熔合线处发生断裂（见图1）。通过一系列的检测、试验，分析查找阀杆断裂失效的原因。

2. 检测、试验及分析

（1）经查阀杆断裂前的工艺步骤　阀杆粗车后在1040℃进行固溶处理，密封面堆焊后，对阀杆进行550℃的时效处理。符合加工工艺要求。

（2）对阀杆断裂处进行渗透无损检测，按JB/T4730.5 Ⅰ级规定，未发现超标缺陷。

（3）阀杆断口基本垂直于轴向方向，断口上未见明显的塑性变形痕迹，存在明亮的反光小刻面，宏观断口呈岩石状断口。

（4）阀杆结构分析　阀杆结构如图2所示，阀杆断裂部位，处于ϕ21mm堆焊层熔合线附近，结构上此处易造成应力集中。但对断裂处查看，熔合线上没有咬边、未熔透、高点等引起应力集中的缺陷。

（5）05Cr17Ni4Cu4Nb原材料检测　用光谱分析仪进行化学成分分析，结果如表1所示，阀杆拉伸试验结果如表2所示。

（6）阀杆硬度检测　固溶+550℃时效处理，标准硬度值≥35HRC；堆焊层靠近熔合线及热影响区处：圆柱表面、心部硬度36～38HRC；阀杆远离堆焊区域处母材：圆柱表面、心部硬度

(a)　(b)

图 1

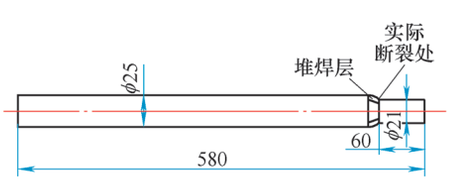

图 2

表1　05Cr17Ni4Cu4Nb化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb
标准值	≤0.07	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	15.0～17.5	3.00～5.00	3.00～5.00	0.15～0.45
检验值	0.04	0.31	0.29	0.022	0.009	15.24	4.09	3.16	0.21

37～38HRC。

阀杆远离堆焊区域处母材冲击试验：1#样：45J/cm^2；2#样：50J/cm^2。从以上数据分析，原材料化学成分、材料硬度、力学性能均符合GB/T1220—2007对材料的要求，冲击韧度值也达到相对较高水平。

（7）金相组织检查与分析　首先对非热影响区进行了金相检查，其组织为板条状马氏体+少量δ铁素体；随后又对热影响区、堆焊层熔合线附近部位进行金相检查。

非热影响区组织：板条状马氏体+少量δ铁素体，如图3所示。

距熔合线6~8mm处热影响区：金相组织为马氏体+δ铁素体（约6%），如图4、图5所示。

距熔合线2~4mm处热影响区：金相组织为马氏体+δ铁素体（8%~9%），如图6、图7所示。

从以上可以看出，材料组织主要是马氏体+δ铁素体。05Cr17Ni4Cu4Nb堆焊ERCoCr-A，在靠近熔合线的热影响区处，受焊接热输入的影响，此区域具有较高的温度，因此δ铁素体以极大的数量存在于组织中，组织由板条马氏体、δ铁素体构成；远离熔合线，温度下降，组织中马氏体增多，并且有残留奥氏体出现，δ铁素体含量下降；当离熔合线距离更远时，组织主要为无序的板条马氏体。

铁素体是碳溶于体心立方晶格α-Fe的间隙中，是一种间隙固溶体。由于碳原子的半径比α-Fe晶格中的空隙半径大得多，所以从纯几何角度讲，α-Fe中不可能溶解碳。但实际上，由于晶体内部存在缺陷（如位错、空位、晶界等），故α-Fe中可溶解微量的碳，而随着温度的升高，溶碳量也有所增加。因此，被保留在钢的常温组织中的δ铁素体会产生内应力，无疑成为基体的一大脆相。

表2　阀杆拉伸试验结果

序 号	直径/mm	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断面收缩率（%）	断后伸长率（%）
1	10	1404	1343	61.56	19.50
2	10	1384	1299	61.56	19.50
平均值		1394	1321	61.56	19.5
标准值		≥1070	≥1000	≥45	≥12

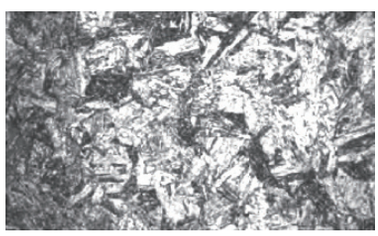

图3　低倍组织（500×）

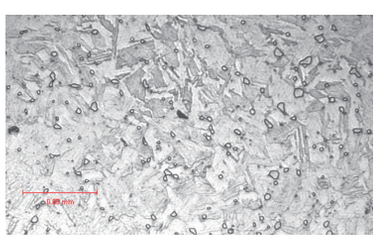

图4　低倍组织（250×）

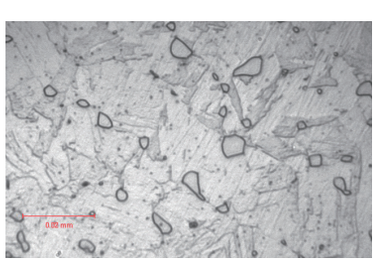

图5　高倍组织（1000×）

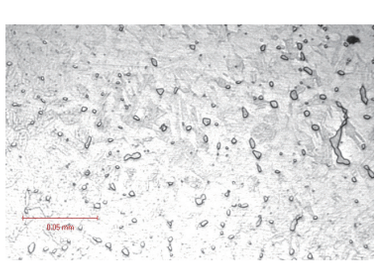

图6　低倍组织（250×）

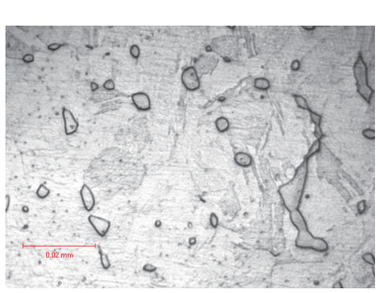

图7　高倍组织（1000×）

3. 结语

05Cr17Ni4Cu4Nb由于阀杆结构所产生应力集中，不是本阀杆断裂失效的主要因素。阀杆堆焊ERCoCr-A，由于焊接高温，在熔合线附近大量存留的δ铁素体，仅依靠550℃时效处理，不能消除。高温铁素体所产生的应力集中，是阀杆受力后从熔合线附近发生断裂失效的主要原因。

要解决此问题，应考虑选用更先进的工艺技术。如热喷涂技术就是方法之一，喷涂时工件表面温度始终保持在250℃以下，不会改变材料原始组织。因此，采用热喷涂技术取代堆焊工艺在05Cr17Ni4Cu4Nb 材料表面形成耐磨损、耐冲喷涂层，就完全可以避免由此造成的阀杆断裂问题。

作者简介：刘智民、李斌、赵龙龙，西安泵阀总厂有限公司工艺部。

MW 20160428