

下模板开裂失效分析

■ 邱世洵, 刘雪波

摘要: 经检验分析, 找到了下模板有裂纹和黑斑的原因, 并制定了防治措施。

一家冰箱生产企业使用的下模板采用Cr12MoV钢制造。制作下模板主要工艺流程为: 板料→下料→铣→粗磨→钻孔→热处理→精磨→成品。某次一件下模板在精磨加工阶段, 发现下模板磨削面有裂纹并有黑斑存在(见图1)。按设计使用要求, 下模板不允许出现这种开裂现象。为判断问题原因, 防止类似现象再次出现, 对失效的下模板产品进行了取样分析。

根据检测分析的需要, 在开裂下模板上截取1#、2#及3#样块(见图2), 1#、2#样块进行金相、微观形貌及成分分析, 3#样块进行硬度及化学成分分析。

1. 检验内容和结果

(1) 宏观检查 对下模板检查发现(见图1), 磨削面出现分散且长短不同的裂纹, 裂纹外形纤细、刚劲有力, 测出的裂纹长度为2~7mm、宽度<0.5mm、深度<0.7mm, 由此可

判断为表面裂纹; 并有长度约为1.2mm、宽度<0.5mm的黑斑。

(2) 化学成分 对开裂下模板进行成分分析, 结果见表1。

由表1可知, 所检化学成分与GB/T1299—2000《合金工具钢》标准规定的Cr12MoV钢化学成分比对, 开裂下模板的化学成分属合格范围。

(3) 金相检验 在下模板未开裂部位截取金相试块, 对未侵蚀组织, 依据GB/T10561—2005标准评定夹杂物为: 硫化物类A0级, 氧化铝类B1.5级(见图3), 硅酸盐类C0级, 环状氧化物类D2.5级(见图4), 单颗粒球状类DS(后续简称DS夹杂物)1.5~3级(见图4~图6)、部分区域DS夹杂物>3级(见图6), 故开裂下模板DS夹杂物级别超高。

接着对下模板开裂面部位金相试块, 进行未侵蚀组织观察, 可见裂纹在DS夹杂物处生成并延

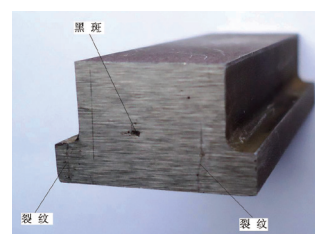


图1 下模板外形结构及开裂部位图



图2 开裂下模板取样图

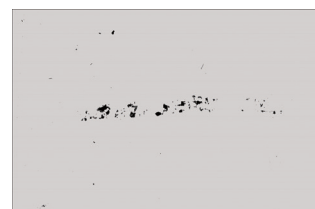


图3 开裂下模板夹杂物图(100×)

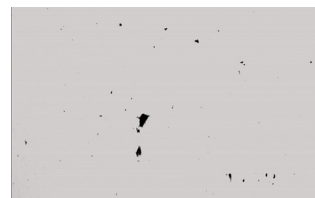


图4 开裂下模板夹杂物图(100×)

表1 化学成分分析结果(质量分数) (%)

元素	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
测定值	1.53	0.38	0.24	11.80	0.46	0.26	0.020	0.006
标准值	1.45~1.70	≤0.40	≤0.40	11.00~12.50	0.40~0.60	0.15~0.30	≤0.030	≤0.030

伸（见图7、图8箭头所指处），并沿着DS夹杂物扩展（见图8箭头所指处），且在主裂纹处还衍生出支裂纹（见图9）；宏观所发现的黑斑，金相观察实为DS夹杂物聚集，在此DS夹杂物聚集处，显现生成多条微裂纹（见图10箭头所指处）。

再经4%硝酸酒精侵蚀后，观察开裂下模板的淬火（1010℃油淬）+两次回火（400℃、380℃）热处理组织，为隐针马氏体+碳化物+少量残留奥氏体，依据GB/T6394—2002标准评定晶粒度为7级、及其GB/T14979-1994标准评定共晶碳化物不均匀度（A4）为4级，故淬回火热处理后组织正常（见图11），说明淬回火热处理工艺合适。

继续观察淬回火热处理后裂纹处的组织发现，裂纹两侧无脱碳层、尾端尖细（见图12、图13），有断续状的细小尾巴，以致逐渐消失；主裂纹处有支裂纹，裂纹以穿晶为主、结合沿晶的方式扩展（见图14），故磨削面出现的裂纹是在热处理淬火过程中形成的^[1]。

（4）SEM断口微观形貌观察 用扫描电镜对下模板开裂部位进行观察，DS夹杂物呈现团絮状形貌特征，并发现在DS夹杂物处形成主裂纹和支裂纹（见图15）、以及由DS夹杂物聚集组成黑斑处生成扩展多条微裂纹的情况（见图16）。

（5）EDS能谱微观成分分析 采用能谱仪分别对裂纹源处的DS夹杂物及正常组织处，进行无标样定性及半定量分析对比，结果如图17～图20及表2、表3。

从能谱分析的结果可看出，

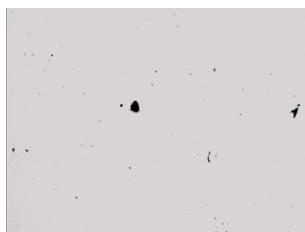


图5 开裂下模板夹杂物图（100×）



图6 开裂下模板DS夹杂物图（100×）



图7 开裂下模板裂纹图（50×）

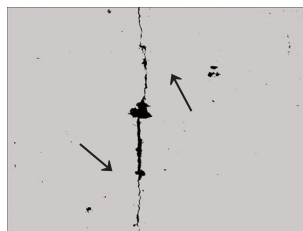


图8 开裂下模板裂纹图（50×）

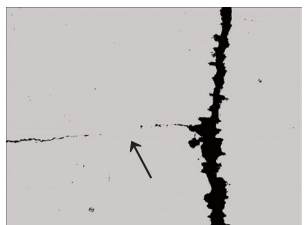


图9 开裂下模板裂纹图（50×）

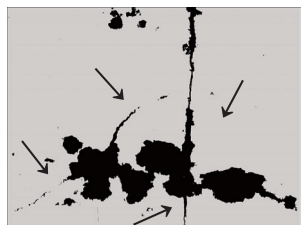


图10 开裂下模板裂纹图（50×）

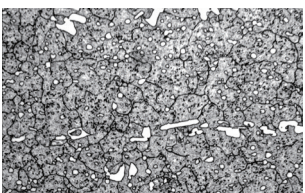


图11 开裂下模板热处理组织图（500×）

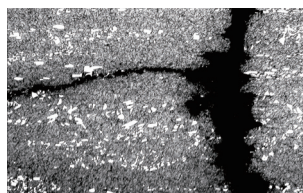


图12 下模板开裂处组织图（100×）

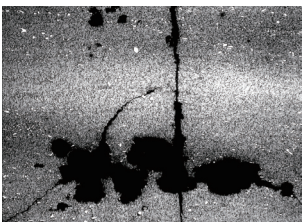


图13 下模板开裂处组织图（50×）

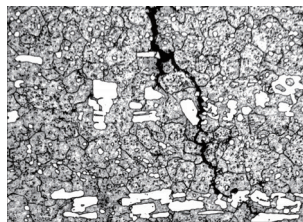


图14 下模板开裂处组织图（500×）

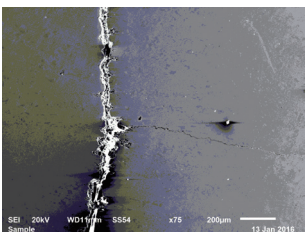


图15 沿DS夹杂物形成主裂纹和支裂纹（75×）

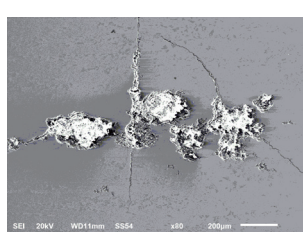


图16 DS夹杂物聚集成多条微裂纹（80×）

开裂下模板裂纹源处DS夹杂物中含O量高达27.98%，故主要为SiO₂、Al₂O₃等DS夹杂物，此类DS夹杂物为Cr12MoV钢冶炼时，没能很好净化去除夹杂而残留在钢中造成的；而下模板正常组织处含O量为0，从而无氧化物类夹杂物。

(6) 硬度检测 在开裂下模板截取试块，实测洛氏硬度结果见表4。

由表4得出，所检开裂下模板硬度值属技术要求规定值范围。

2. 结果分析

宏观检查发现，开裂下模板磨削面出现分散且长短不同的表面裂纹以及黑斑。

所检开裂下模板元素百分含量与标准值比对，符合标准规定的Cr12MoV钢化学成分范围。

金相检验表明，开裂下模板组织中DS夹杂物1.5~3级、部分区域DS夹杂物>3级，并存在DS夹杂物聚集现象，故开裂下模板DS夹杂物级别超高，且可明显发现裂纹在DS夹杂物处生成并延伸。经淬回火热处理后开裂下模板组织正常。另外，根据磨削面裂纹的特征，所出现的裂纹是在热处理淬火过程中形成。

用扫描电镜（SEM）对下模板开裂部位观察证实，在呈团絮状DS夹杂物处形成裂纹并扩展。

采用能谱仪（EDS）对磨削面进行分析，DS夹杂物主要为氧化物类夹杂物，而正常组织处无氧化物类夹杂物。

力学检测显示，所检开裂下模板硬度属技术要求值规定范围。

根据以上检验结果，开裂下模板所用的Cr12MoV钢板料冶炼时，没很好净化去除夹杂而残留在钢中，引起DS夹杂物级别超

高，因而在粗大的DS夹杂物处存在较大的应力集中，导致在随后

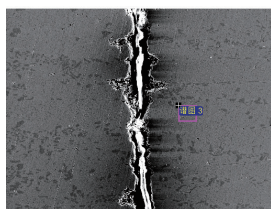


图17 下模板裂纹源处DS夹杂物能谱分析

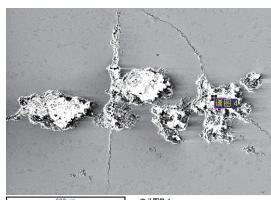


图19 下模板正常组织处能谱分析

表2 模板裂纹源处DS夹杂物能谱分析

元素	重量百分比 (%)	原子百分比
C K	3.48	8.81
O K	27.98	53.15
Al K	0.32	0.36
Si K	0.50	0.54
S K	0.75	0.71
Cl K	1.54	1.32
V K	0.36	0.21
Cr K	20.94	12.24
Fe K	40.25	21.90
Tb L	3.88	0.74
总量	100.00	—

的淬火热处理过程中，DS夹杂物成为裂纹源并扩展成表面裂纹。

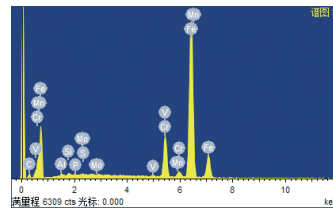


图18 下模板裂纹源处DS夹杂物能谱分析谱图

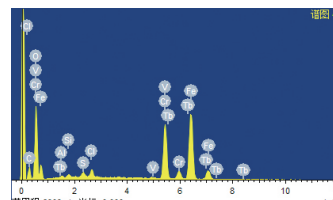


图20 下模板正常组织处能谱分析谱图

表3 下模板正常组织处

元素	重量百分比 (%)	原子百分比
C K	1.81	7.78
Al K	0.48	0.92
Si K	0.27	0.49
P K	0.03	0.04
S K	0.03	0.05
V K	0.18	0.18
Cr K	12.95	12.86
Mn K	0.20	0.19
Fe K	83.54	77.21
Mo L	0.52	0.28
总量	100.00	—

表4 洛氏硬度

项目类别	硬度HRC
实测值	58.0、58.5、58.0（平均58.0）
技术要求值	58~50

3. 结语

(1) 下模板组织中DS夹杂物级别超高，是造成下模板热处理时开裂的主要原因。

(2) 建议对下模板所用板料质量在进料时进行严格的实施

监控。

参考文献

- [1] 胡世言. 破断故障金相分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1979: 135~136.

作者简介: 邱世洵、刘雪波, 安徽省机械科学研究所。

MW 20160512