Cr12MoV模具钢淬火开裂原因分析

王坤
广东环境保护工程职业学院机电工程系　广东佛山　528216

摘要：Cr12MoV 模具钢经过淬火、回火工序后，进入电火花线切割工序加工时出现模具开裂，对其进行原因分析并提出防止措施。利用金相显微镜，观察并分析了开裂模具的金相组织，结果表明：该模具钢淬火开裂的主要原因是晶粒粗大、碳化物呈不均匀状。

关键词：Cr12MoV 模具钢；开裂；失效分析

1　序言

Cr12MoV是莱氏体钢，其碳含量（w_C=1.45%~1.70%）比Cr12（w_C=2.00%~2.30%）低，并且添加了钒、钼等元素，使钢中碳化物的不均匀程度、锻造性能和冲击韧度都得到了大幅改善，其中钒、钼元素可以降低碳化物不均匀的现象，钼元素能降低碳化物偏聚并且提高淬透性，钒元素能提高冲击韧度并细化晶粒。Cr12MoV 钢具有高淬透性，在各类模具制造中应用广泛[1-3]。但用Cr12MoV模具钢制造的模具凹模结构相对比较复杂且要求较高，不能用传统的加工工艺完成，必须采用线切割方式加工。Cr12MoV钢模具一直存在淬火后型腔内线切割开裂的严重问题，产生开裂缺陷的比例超过20%[4]，延长了模具的制造周期，给企业带来经济损失。本文对失去应有功能的零件进行失效分析，寻找失效原因，提出预防措施，对于工业生产具有重要的现实

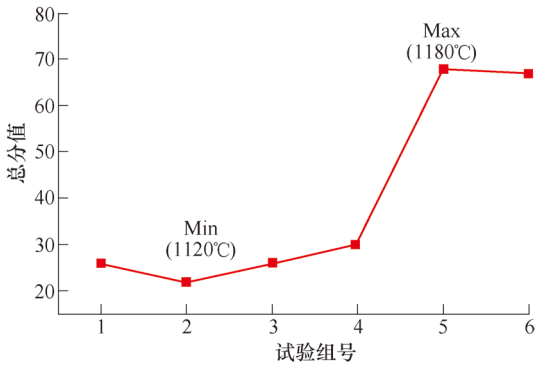


图1　固溶热处理试样性能分值曲线

过1120℃后，随固溶热处理温度的递增，其综合性能逐渐缓慢地变差；当固溶热处理温度超过1160℃后，分值曲线快速上扬，其综合性能迅速恶化，固溶热处理温度在1180℃时，其试样综合性能最差。综上所述，S30432不锈钢最佳的固溶热处理温度为1120℃，不宜超过1160℃。

ASME CODE CASE 2328-2中提出，S30432不锈钢的热处理规则可与TP347H不锈钢相同[2]，目前TP347H不锈钢普遍采用的固溶温度为1175℃，接近S30432不锈钢性能最差的1180℃温度区域。如果采用此固溶温度应用于S30432不锈钢，弯头的性能是较差的，故S30432不锈钢的固溶热处理应区别于TP347H不锈钢。

4　结束语

1）S30432奥氏体不锈钢最佳的固溶热处理温度为1120℃，不宜超过1160℃。

2）S30432奥氏体不锈钢的固溶热处理温度不宜与TP347H奥氏体不锈钢完全等同。

参考文献：

[1] 束国刚，薛飞，范长信，等.国产P91钢的热处理工艺优化研究[J].中国电力，2003，36（8）：20-23.

[2] 刘江南，王正品，石崇哲.锅炉用T/P91钢组织及性能研究-进展报告之二、三、五[R].西安：西安工业学院，2001.

MW 20210601

意义，可以促进产品质量改善，提高生产效率[5, 6]。

2 试验材料与方法

试验材料为Cr12MoV钢，某工厂冲裁模凹模断裂试样模型如图1所示，尺寸为400mm×400mm×60mm，线切割加工时出现裂纹。冲裁模凹模工艺路线为：锻件→球化退火→粗加工六面→钻孔→真空淬火→线切割内孔→精加工成形，工件热处理工艺如图2所示，Cr12MoV钢导热性差，650℃预热90min，850℃预热60min，1030℃加热保温90min淬火。淬火后的硬度为58~60HRC，符合要求。

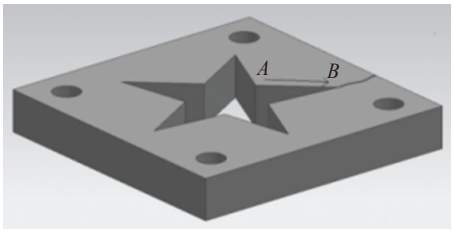


图1 冲裁模凹模试样模型

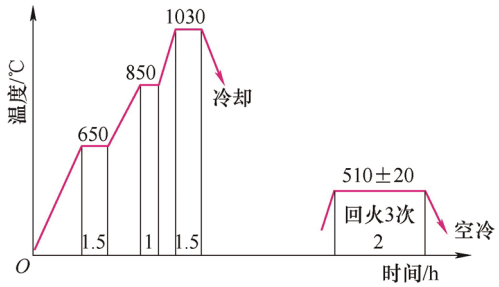


图2 工件热处理工艺

3 试验结果及分析

在模具设计中，适当的硬度是很重要的。然而要使线切割时开裂现象得到改善，必须使模具内部淬火应力尽量减弱甚至消除。而要消除淬火应力就应该提高回火温度或是进行长时间回火，在实际生产中，长时间回火不符合生产节拍要求，并且消除应力的效果在较长的一段回火时间内也不是很明显。按照以往成形工艺经验，回火温度提高将使硬度明显下降，这样就与模具设计要求相矛盾，因此应找到二者的最佳结合点。表1是Cr12MoV钢常规的三种淬火、回火工艺。

其中，低淬低回之后的工件一般不能进行线切割加工，中淬中回特别适用于需要线切割或大量磨削的工件。

表1 Cr12MoV钢淬火、回火工艺

工艺	淬火温度/℃	淬火冷却介质	回火温度/℃	硬度HRC
低淬低回	950~1020	矿物油	180~200	58~62
中淬中回	1030	矿物油	400~520	≤59
高淬高回	1050~1080	矿物油	500~520	—

Cr12MoV 钢属高碳高合金钢，由于残留奥氏体的存在，因此如果淬火之后回火不足，就会有二次硬化效应。假如残留奥氏体量较多，组织不稳定，会导致回火之后变形较大，当模具工作中受到挤压变形和冲击时[7]，达到一定条件，残留奥氏体便会转变为极脆马氏体，导致材料的组织应力急剧增加，使材料脆性断裂的倾向急剧增大。

因此，该工件采用中淬中回工艺，并且3次回火。3次回火的目的不仅是消除淬火内应力，降低基体中残留奥氏体的含量，关键还是在每一次的回火中，马氏体和残留奥氏体中碳析出后形成细粒针状碳化物，降低了残留奥氏体中的碳含量，不仅使工件尺寸性能稳定，同时在每次加热过程中将上一次转变成的马氏体又进行了回火。由于残留奥氏体的存在，所以一次长时间的回火是达不到目的的。

4 金相照片

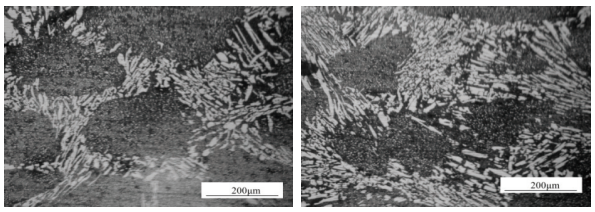
Cr12MoV模具钢属于莱氏体钢，钢液浇注一次凝固析出的大量共晶组织，转变组织为树枝状共晶莱氏体（M_7C_3型碳化物+奥氏体）和奥氏体[8]。随着温度下降，奥氏体中的碳不断析出，共晶组织聚集、长大并尖锐化，树枝状碳化物异常长大。Cr12MoV钢淬火之后碳化物体积分数仍可达到13%~20%[9]。由于碳化物与基体的膨胀系数不同，所以偏聚的碳化物会导致模具在淬火、回火之时及之后产生不均匀变形，也会引起其他性能出现各向异性。因此，为了延长模具的使用寿命，必须尽可能地使钢中共晶碳化物弥散化。改善Cr12型模具钢碳化物偏聚的主要方式是锻造，通过重复镦粗、拔长的锻造方法，破碎一次和二次碳化物最终使之均匀分布。钢经锻造后缓慢冷却，随后进行退火。

图3显示共晶碳化物的不均匀程度，参照GB/T 14979—2007《钢的共晶碳化物不均匀度评定法》标准，此断裂样的共晶碳化物不均匀度参照图谱为8级，属于标准图谱中的最差等级。

图4显示钢中的大块碳化物，参照JB/T 7713—

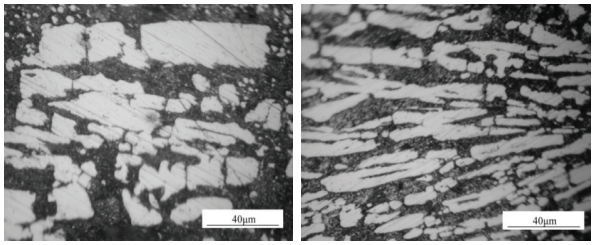
2007《高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验》标准，其大块碳化物尺寸超出了标准中的最差等级。

图4同时显示钢中马氏体级别，参照JB/T 7713—2007《高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验》要求，其马氏体级别可评定为2级，属合格级别，且硬度也满足要求，说明热处理工艺合理。



a）100×　　b）500×

图3　热处理后共晶碳化物的形态与分布



a）100×　　b）500×

图4　大块碳化物的形态

碳化物偏聚常出现在高碳高合金钢中，例如Cr12MoV钢，其特点是在个别区域有较多的碳化物偏聚。主要原因是热加工时，二次碳化物在晶界呈网状分布和钢中大块不均匀分布的共晶碳化物未被打碎导致的。零件在淬火时，这些偏聚区极易引起应力集中。碳化物偏聚和网状分布将大大降低钢的锻造变形性能，极易引起锻件淬火后开裂。

Cr12MoV 模具钢中碳化物级别应小于2级[10]，由于大量Cr（质量分数为12%）的存在，钢液浇注一次凝固析出的大量共晶组织，主要是硬度很高的铬铁复合碳化物（Fe，Cr）$_7C_3$极其稳定，一般的热处理很难细化，即使经锻造轧制处理后，在较大块的钢材中仍保留一些带状或网状碳化物。大块的碳化物周围常有空位、位错等缺陷，这些区域冲击韧度很差，不能承受很大冲击，在交变载荷的作用下，这些缺陷很容易萌生疲劳裂纹。

5　结束语

1）显微组织中碳化物的不均匀度和大块碳化物形态尺寸与标准存在偏差，原材料的材质极差。

2）凹模存在尖角部位。通过改善工艺流程，预开工艺腔，尖角部位改为圆角过渡，避免淬火过程或线切割过程中开裂。淬火之前预先开设工艺腔可以缩小淬火时的内外温差，有利于冷却，使切割部位有足够的韧性；改变内应力分布，可有效预防线切割时开裂。根据模具形状，尽量将工艺孔增大，也助于内应力的释放。

3）改善线切割的电流密度，减少线切割的应力集中，合理选用线切割工艺参数。

参考文献：

[1] WANG J，ZHOU J，ZHU S S，et al.Friction properties of groove texture on Cr12MoV surface[J]. Journal of Central South University，2017，24（2）：303-310.

[2] WU B，LIU P，DUAN J，et al.Study on picosecond pulse laser ablation of Cr12MoV cold work mold steel[J].Materials and Design，2016，110：549-557.

[3] 刘成成，陆德平，罗军明，等.脉冲等离子体爆炸对Cr12MoV 钢组织及性能的影响[J].材料热处理学报，2016，37（8）：177-183.

[4] 贺其申.热处理工艺在Cr12MoV模具线切割开裂问题上的改进[J].柴油机设计与制造，2004（1）：48-49.

[5] 刘贵民，杨忠须，闫涛，等.电磁轨道炮导轨失效研究现状及展望[J].材料导报，2015，29（7）：63-70.

[6] MOREIRA D C，FURTADO H C，BUARQUE J S，et al.Failure analysis of AISI410 stainless-steel piston rod in spillway floodgate[J].Engineering Failure Analysis，2019，97：506-517.

[7] 李红.Cr12MoV 钢切边模的热处理工艺改进[J].金属热处理，2001（6）：48.

[8] 张伟文，朱繁康，谢民，等.Cr12MoV 钢制模板断裂失效分析[J].机电工程技术，2006，35（10）：75-77.

[9] 赵玉民，牟军伟.Cr12MoV钢的固溶双细化研究[J].热加工工艺，2008，37（2）：76.

[10] 蔡美良，丁惠麟，孟沪龙.新编工模具钢金相热处理[M].北京：机械工业出版社，1998：65-72.

MW 20210706