锻钢活塞锻造及余热淬火分析

合肥工业大学材料科学与工程学院 （安徽 230009） 王 杰
安徽安簧机械股份锻造公司 （安庆 246005） 黄昌文 丁金根

活塞是发动机的核心零件，决定着发动机性能。活塞工作环境极其恶劣，这就要求其不仅力学性能达到要求，还要具备抗高温高压能力。为了获得相应力学性能及抗高温性能，适当的热处理是必不可少的。热处理过程是温度、组织转变、应力三个方面相互作用的复杂过程。

1. 活塞加工工艺

42CrMo4锻钢活塞生产原材料采用ϕ90mm×200mm钢坯，使用中频感应炉加热到1200～1240℃，淬火冷却介质使用L—AN22全损耗系统用油代替普通淬火油。具体加工工艺路线为：加热→锻造→切边→淬火900℃、回火（600℃）→铣顶杆→钻孔→抛丸、磁粉检测→成品检验→包装、入库出运。活塞实体如图1所示。

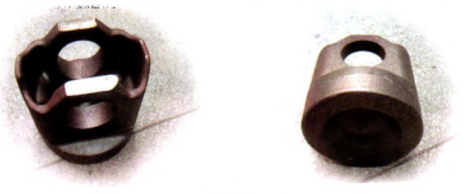


图1 活塞实体照片

活塞热处理工艺：活塞锻后冷却至900℃利用余热淬火，淬火冷却介质为L—AN22全损耗系统用油，油温控制为20～60℃，淬火后及时进行高温回火，回火温度（600±20）℃。热处理工艺如图2所示。

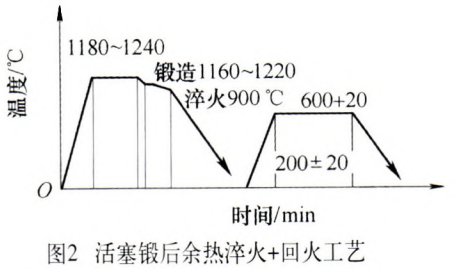
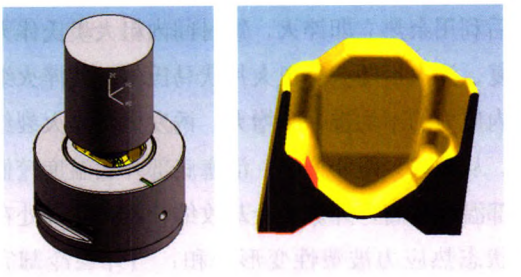


图2 活塞锻后余热淬火+回火工艺

2. 有限元模拟

（1）模型建立 锻造过程模型建立。利用UG分别建立凸凹模及坯料，并将3个部件装配到一个文件中（方便在DEFORM中对准中心），如图3a所示，导出STL文件，并导入DEFORM－3D。热处理过程模型建立。因为工件是对称的，取1/2作为模拟对象，如图3b所示。



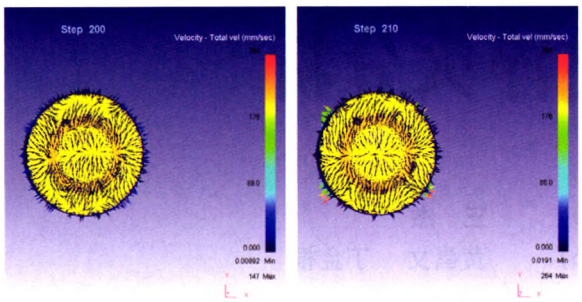
(a) (b)

图3 模具及活塞三维模型

（2）锻造过程模拟 具体参数设置如下：①材料参数。毛坯选用42CrMo4，在材料库中适应条件选择Hot Forming，steel 选择42CrMo4，模具材料选择AISI-H-13。②环境设置。模锻温度为1200℃，模具初始温度定义为20℃，网格划分数40 000。③运动参数。凹模固定不动，凸模运动速度50mm/s，运动方向Z^-，凸模从刚接触坯料开始运动。设置运行300步，步长为0.3，接触关系选择塑性剪切（Shear）摩擦模型，摩擦因子选择Hot Forming（dry）0.7。

模拟结果及对淬火裂纹影响分析。模拟在210步结束，模拟结果很好地显示了材料最后的流动方向速度，从图4a 200步到图4b 210步锻造过程最后阶段，活塞凹槽底部以外的材料向心部流动，凹槽内部材料向外流动，在凹槽处材料流动形成倒

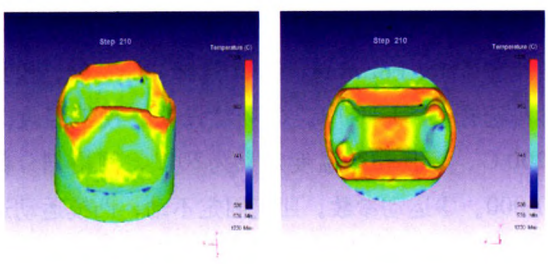
“人”字形，故此该处易形成折叠。在折叠处易产生裂纹，在后期淬火过程中扩展开来。



(a) (b)

图4 热锻成形速度场分布

模拟结果显示，锻后活塞不同部位温度差异较大，如图5所示，活塞凹槽底部周边差异最大，所以活塞淬火过程中马氏体转变不能同时进行。如图5b所示活塞底部凹槽区域温度高达1000℃以上，过高的温度导致奥氏体晶粒粗化，加上锻造过程的晶粒受力变形，原本粗大的奥氏体被进一步拉长。锻造后利用余热立即淬火，短时间内粗大奥氏体无法回复，淬火后即获得粗大片状马氏体，使淬火组织和内应力的不均进一步增大，诱发显微淬火裂纹产生。从图5a、图5b分析，活塞底部外层温度较低、心部温度较高，外层先冷却收缩，此时心部处在塑性状态热应力被塑性变形缓和；当外层冷却完成后，心部冷却收缩，此时温度较低塑性降低，在凹槽处形成残余拉应力，在拉应力的作用下显微裂纹逐渐扩展开来。



(a) (b)

图5 热锻成形温度分布

(3) 淬火过程热应力模拟 淬火过程主要参数设置：由于热处理材料库中无42CrMo4，故此只能依据钢的含碳量做近似处理，从DEFORM安装文件导入Demo Temperor—Steel.KEY，设定w(C)为0.4%。为对比不同温度热处理后残留应力，坯料初始温度分别设为860℃、1000℃，Austenite设为1。自动划分网格12 000，添加淬火过程，选着接触面。设置温度变化步长2℃/步；最大最小时间步长分别为0.01℃/步和10℃/步。

淬火温度对余热淬火裂纹产生的影响。模拟中选择两种淬火温度860℃、1000℃，空气介质系数为0.02，淬火冷却介质热交换系数为5.5，锻后淬火温度为860℃、1000℃时X、Y、Z三个方向的热应力分布分别如图6、图7所示。

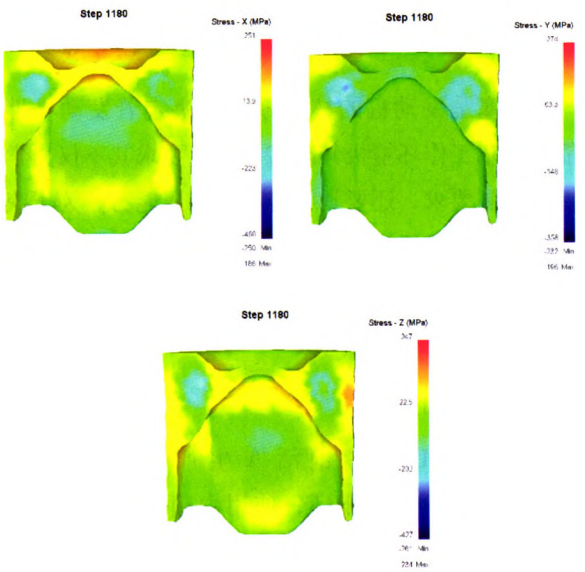


图6 860℃淬火活塞应力分布

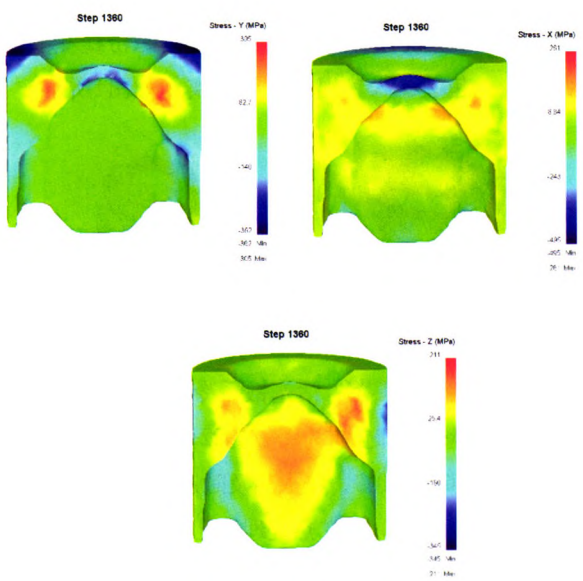


图7 1000℃活塞应力分布

分析可知，1000℃活塞淬火后淬火热处理应力略高于860℃淬火热应力，活塞底部凹槽处处于拉应力状态，易诱发裂纹缺陷，但模拟显示两个温度下活塞淬火残余应力并不大。可见，淬火温度越高

500MN大吨位垂直热挤压钢管机组产品应用分析

河北宏润重工股份有限公司 （盐山 061300） 刘 强 曹铜壁 李文亮

2012年12月16日，中国重机协会受国家工信部委托对我公司“500MN垂直热挤压机组”进行了新产品鉴定，与会专家在听取了公司机组研制总结汇报，以及考察了生产现场机组设备与挤压钢管产品后，一致鉴定认为该机组处于国内领先，达到国际先进水平。

该垂直热挤压机组主要适用于制造高温变形抗力的高端稀缺合金材料成形，目前在国内外拥有较少。国外有美国威曼•高登公司、德国曼内斯曼公司、日本住友公司等可以生产，国内内蒙古北方重工集团拥有150~360MN钢丝缠绕式垂直挤压机生产线。当前，国内用于核电、火电、石油化工、军工等领域高温、高压、耐腐蚀等恶劣环境下特种高端合金无缝钢管及管件成形工艺中，需求量连年增加。但我国生产此类产品的重型装备制造水平不足，大部分需要高价进口。

500MN垂直热挤压机组主要制造优点：一次成形，加热火次少，材料热变形中组织平稳；经受三向挤压后，组织均匀、致密，挤压成形钢管具有良好的抗腐蚀、抗疲劳性能；挤压钢管内外表面质量高，壁厚偏差极小；能耗少，材料利用率高；特别适宜制造高温变形抗力大的高端合金产品等。

1. 挤压机组特点介绍

（1）挤压作业 500MN垂直热挤压生产机组两台主机实物作业是160MN制坯机（见图1）与500MN热挤压机（见图2）。

（2）挤压设备能力 500MN垂直热挤压机组，不仅能够生产最大外径ϕ1320mm无缝钢管、巨型铸管模、核电球形封头、高压阀门阀体，满足核电、火电、石油化工、煤化工等行业需求，且可以应用到火箭、导弹、航空航天、船舶、军工产业等高端技术领域内，挤压高温合金、不锈钢、镍基



图1 160MN制坯机

产生裂纹倾向越大的原因并非高温引起残余应力过高，而是高温导致淬火组织粗化，断裂强度降低。

3. 结语

（1）借助Deform-3D 有限元软件模拟分析了锻钢活塞锻后余热淬火过程，得出锻件锻造过程材料流动，工件淬火后残余应力的分布，活塞底部凹槽处为产生裂纹缺陷危险部位。

（2）淬火加热温度愈高，淬裂倾向愈大，并不是由高温热处理宏观应力增大引起的，温度过高导致晶粒粗大、断裂强度降低才是其根本原因。

MW （20131113）