

42CrMoL 钢环锻件形变过烧的研究

张家港海陆环形锻件有限公司 (江苏 215626) 邱冬华 黄 诚 吴君三 戴玉同 宋亚东

42CrMo 系列钢具有良好的综合力学性能,在风力发电设备中的重要零部件上得到广泛应用,如回转支承、齿圈类环形件、风力发电机主轴等。作为其一部分的无缝环形锻件通常采用径轴向辗环机轧制而成,使得锻件内部组织性能均匀,从而达到客户的使用要求。本文涉及的 42CrMoL 无缝环锻件经径轴向辗环机轧制完成,粗车加工后,表面光洁无异样,未发现肉眼可见缺陷,但是通过超声波检测发现,在环锻件的内部中心一圈处存在大面积孔洞等密集性缺陷,利用金相显微镜对其缺陷部位的组织形貌进行观察,并对其产生原因进行详细的分析。

一、试验材料及方法

1. 试验材料

试验用材料为某厂生产的连铸圆坯,采用“电炉+LF(钢包精炼炉)精炼+真空脱气”工艺进行冶炼,并采用连铸方式制造。连铸圆坯经 60MN 油压机制坯,径轴向辗环机轧环,粗车加工后的环锻件规格为 $\phi 926\text{mm} \times \phi 544\text{mm} \times 266\text{mm}$,实物如图 1 所示。原材料为 42CrMoL 钢,环锻件原材料成分见表 1。

无缝环锻件锻制流程为:原材料复验→下料→称重→加热→压机制坯→辗环→粗车→超声波检测。



图 1 环锻件

表 1 化学成分(质量分数) (%)

成分	C	Si	Mn	Mo	Cr
标准	0.41 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.60 ~ 0.80	0.15 ~ 0.25	1.00 ~ 1.20
实测	0.42	0.21	0.7	0.16	1.12
成分	P	S	Ni	Cu	Al
标准	≤0.015	≤0.015	≤0.30	≤0.25	0.015 ~ 0.040
实测	0.015	0.014	0.25	0.15	0.018

(1) 连铸圆坯制坯锻造工艺 根据客户所需规格,进行理论重量计算,将原材料坯锭根据理论重量进行锯床切割、下料,至加热炉加热到 $(1250 \pm 10)^\circ\text{C}$,在 60MN 油压机上进行锻粗,冲孔,将毛坯放入 $\phi 9\text{m}$ 辗环机进行轧环锻制,确保钢锭锻透。其中,始锻温度 $\leq 1150^\circ\text{C}$,终锻温度 $\geq 850^\circ\text{C}$ 。

(2) 超声波检测 将环锻件粗车后,放在检测平台处,在其表面涂有机油耦合剂,进行超声波检测,根据单直探头接触法探测是否存在内部裂纹或其他性质的缺陷。

2. 试验方法

首先对环锻件表面进行宏观检查,再通过超声波检测,分析锻件内部缺陷分布情况。在环锻件存在较多缺陷处,取样制备金相试验。先将试样进行研磨抛光,观察缺陷分布情况,再将试样经 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后,重点观察其金相组织。

二、试验结果

1. 超声波检测结果

宏观检查未发现环锻件表面存在裂纹及可见缺陷,表面光洁无异样,通过在其端面进行超声波检测发现环锻件中心一周面散布密集性缺陷,缺陷处底波严重下降或消失,外圆面检测相同位置缺陷,缺陷亦呈密集和底波消失的特征,疑为工件内部存

在大面积孔洞。缺陷（黑色点状）分布如图2所示，由于诸多缺陷的存在，导致了产品直接报废。

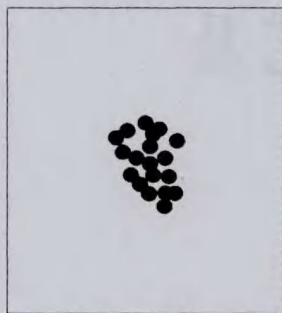


图2 缺陷分布

2. 试样宏观检查

在环锻件中心缺陷处切取横截面，如图3所示。从图中可发现，试样表面处出现大量的孔洞及粒状形貌，且试样的裂纹从内部向外部裂开，呈疏松状、海滩状花样。

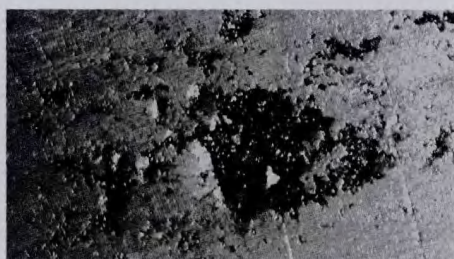


图3 宏观检查

据“形变过烧”特征的描述，“形变过烧”的本质为合金工具钢在锻造时，其加热温度接近钢的液相点，由于形变速度过大，机械能转化为热能，致使其形变量较大的局部区域甚至滑移面温度上升至液相点以上而导致“过烧”。与热处理加热过烧的相同点是都有液相出现，但两者的表现形式却截然不同。热处理过烧是由外部开始，在外观上为网裂、沿晶氧化；而“形变过烧”则从内部发生，工件表面完好，内部呈疏松状，在裂面上能找到液相出现的痕迹，如海滩状花样、熔池现象等。因此，通过外观，其特征符合孙象明先生提出的“形变过烧”特征。

3. 金相试验

(1) 金相组织 在试样中心处截取一典型小试块进行金相观察。先将试块进行研磨抛光，直接在金相显微镜下观察，如图4所示，可发现试样中存在较多的细小孔洞，且部分孔洞沿原奥氏体晶界处

呈熔化状态分布。



图4 金相照片

将试样经4%的硝酸酒精溶液腐蚀后，可以得出试样的组织为珠光体和少量铁素体组织，但是孔洞数量较多，较均匀分布于所示视野中，如图5a所示。

从图5b高倍照片中，可以发现组织中存在典型的高温莱氏体组织，莱氏体组织呈鱼骨状形貌，这种莱氏体的形成温度较高，最少在 A_1 线以上才能出现，且在含碳量较高的金属材料中才能出现。然而，由于锻件始锻温度较高，且中心部位处温度很高，经轧制后，工件塑性变形剧烈，金属材料内部位错大量增殖，同时晶粒细化，晶界增多，使得大量的碳原子通过位错和晶界进行迁移。当大量的碳原子富集时，加之由于热塑性变形而导致材料内部温度的上升，即可发现高温态鱼骨状莱氏体组织。

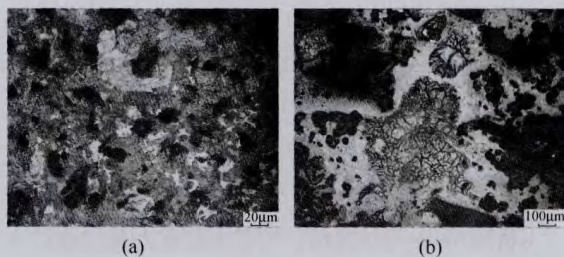


图5 金相组织

(2) 熔坑形貌 金属材料在经过一定的轧制后，材料内部发生激烈的塑性变形，由此试样中晶界数量会明显增加，且变形量越大晶界的增加幅度也越大，这是细化晶粒的过程。由于外加轧制应力使试样中的位错增殖且位错运动互相缠结，这样试样中的位错密度也随着轧制变形量的增加而增加，即轧制变形增加了试样中晶界、位错等结构缺陷的数量。

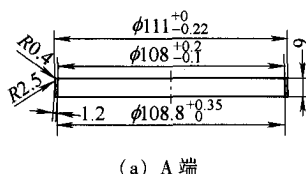
由于晶界、位错等结构缺陷处具有相对较高的能量，其晶界处材料熔点较低，因此在材料内部能观察到液相出现的熔融痕迹，恰好能说明该试样的失效形

TC1 钛合金端板成形工艺及拉深模具设计

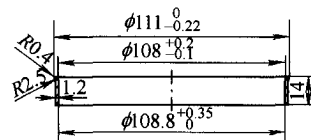
陕西航空电气有限责任公司 (咸阳 713107) 任凡芳

1. 零件分析

该组端环零件为 TC1 钛合金 (MGJB 2505—1995) 薄壁零件, 料厚 1.2mm, 要求外观光亮, 无划伤、起皱及氧化现象 (见图 1)。如果采用管料车削加工, 零件壁太薄, 不好装夹, 零件易变形, 无法保证尺寸要求, 采用钛合金板料热拉深, 外观质量差, 且公差难以保证。我单位决定尝试一下钛合金



(a) A 端



(b) B 端

图 1

板材冷拉深成形工艺。

2. 工艺方案确定

两端环内外径相同、考虑一次落料拉深成形两个零件。先拉深出一定的高度, 经退火软化后再切分成两个独立的毛坯, 然后分工序加工成两种零件。

式为“形变过烧”。

如图 6a 所示, 可以观察到典型的熔坑形貌, 熔坑中间可以观察到有液相出现的熔池现象。熔坑边沿形貌可以看出存在熔坑皱褶, 熔坑边沿皱褶处有许多微裂纹, 这是由于熔池温度较高出现液相, 而熔池边缘温度较低, 固液两相交界处形成温度梯度, 在试样冷却过程中, 产生局部组织应力而出现微细裂纹。

从图 6b 中可以发现, 试样中存在大量的熔坑和熔池形貌, 由此可以判断, 材料是由于形变过程中温度较高, 出现液相, 局部组织熔化, 且产生了高温莱氏体组织, 充分证明了该材料的失效形式符合“形变过烧”的特征。

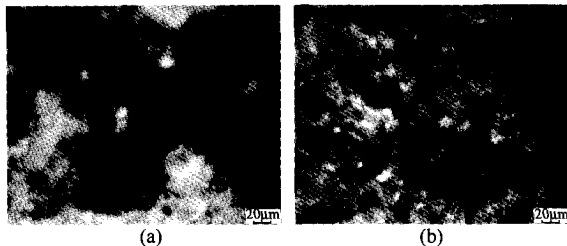


图 6 熔坑形貌

在发现问题后, 我厂重新投料生产, 对锻造原材料加热温度进行更严格控制, 同时在辗环轧制的过程中, 适当降低辗环机径向轴轧制速度, 从而降低塑性变形的程度, 使得锻制过程顺利, 无任何异常情况发生, 产品检验后全部合格。

三、结语

(1) 通过超声波检测可知, 环锻件一周面积散布密集性缺陷, 缺陷处底波严重下降或消失, 为工件内部存在大面积孔洞所致。

(2) 通过宏观检查可知, 试样表面处出现大量的孔洞及粒状形貌, 且试样的裂纹从内部向外部裂开, 呈疏松状、海滩状花样。

(3) 通过金相观察可知, 试样的基体组织为珠光体和少量铁素体组织, 但缺陷处大量的孔洞沿原奥氏体晶界处呈熔化状态分布, 组织中发现高温态鱼骨状莱氏体组织。同时可以观察到大量的熔坑与熔池形貌, 即材料的失效形式为“形变过烧”。

MW (20120326)