

用扫描电子显微镜观察分析锻件中的“鸟巢”缺陷

西安冶金机械厂 牛俊民

【摘要】 迄今，关于钢锻件（或轧材）中的“鸟巢”缺陷的报导仍然较少，这与“鸟巢”难于被发现和它容易被误认为是缩孔有关。我们借助于扫描电子显微镜，分析了“鸟巢”缺陷的特征及形成原因。分析结果表明，“鸟巢”缺陷是大型钢锭（或钢坯）中的横向内裂纹在锻造（或轧制）后形成的。预防“鸟巢”缺陷的措施主要是减小钢锭冷却过程中的热应力。

前 言

所谓“鸟巢”缺陷，是指缺陷在钢中的形状恰似一个鸟窝，因此有人曾称之为鸟巢。它实际上是钢的内部破裂，其立体形状很象体育用品中的铁饼，随着锻（轧）比的增加，也可能变为其它形状。

我们在近期内曾连续遇到过两次鸟巢缺陷，一次是 50Mn2 钢锻件在淬火过程中出现横向开裂，开裂断口的中心部位两端都是凹陷的，这使我们觉得奇怪；不久，我们在一次超声波探伤中又迁到了类似的缺陷。情况是这样的，锻件在粗加工探伤时表面完好，探伤发现工件心部存在一个有一定宽度的横向孔洞，如图 1。以下试验都是在解剖该锻件后所取试样上进行的。

一 实验方法及检查结果

1. 锻件情况

材质：35SiMn 名称：人字齿轮轴；工件净重：670Kg 冶炼时间及浇铸情况：钢锭在 1981 年初冶炼，铸锭 2.1 吨，六角钢锭，锭中段对面尺寸 460mm，从浇注到脱帽间隔 1 小时，从浇注到脱锭 2 小时，钢锭在缓冷坑中放置 24 小时。

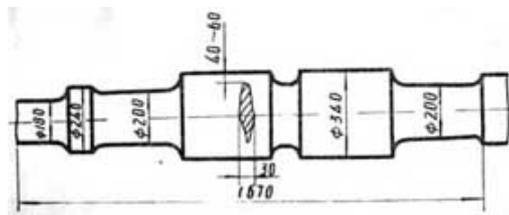


图 1 超声波探伤时缺陷在锻件中的位置及形状

由于条件限制，锻造在 5 吨锤上进行。工件最大直径处锻比为 1.7，锻件未经墩粗。始锻温度 1200℃或稍高；终锻温度 800℃左右。锻后热装炉作退火处理，然后送机加工车间粗加工并探伤。

2. 取样及缺陷处的化学成分

取样全部采用冷加工方法，先在车床上将齿轴带有缺陷的一段（约 150mm）切下。然后将试样沿轴线纵向刨开。在缺陷附近取化学分析试样并未发现异常现象，结果见表 1。

表 1 鸟巢缺陷处的化学成分（%）

成 分	C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu
试 样	0.33	1.24	1.10	0.017	0.024	0.020	
YB6-71 标准	0.32/0.40	1.10/1.40	1.10/1.40	≤0.040	≤0.040		≤0.30

3. 宏观断口及低倍检验

试样刨开后，鸟巢内壁颜色银灰色，表面有两种特征：绝大部分区域较平坦；个别部位（如图 2 中箭头 1 所指处）比内壁表面凸出，象高温塑性拉伸断裂的形态。在这两种特征区域分别取了试样。

低倍试样表面先加工到▽7, 在 80 ℃ 的 50% 盐酸水溶液中热蚀 30 分钟, 其低倍组织见图 2。从图 2 看出, 鸟巢两侧面的组织并无异常, 周围也无缩孔和夹渣。

4. 扫描电子显微镜观察

仪器型号: JSM-35C; 试验条件: 2.5kV, 二次电子图象。

对鸟巢内壁所取试样观察了两个部分: 一部分是孔洞的内壁; 另一部分是取样时用锤击方法打断的新断口。观察结果, 孔洞内壁属解理断裂, 解理扇粗大 (图 3), 在解理断口上有大量的圆形凹坑, 有的凹坑是六边形或四边形的, 并有高温烧损的特征 (图 4), 在试样断口上还找到极个别的自由表面——树枝状晶 (图 5)。刚打断的新断口亦属解理断口 (图 6), 但是从解理扇的大小推断, 它晶粒较细, 并且表面上无烧损蚀坑。

有塑性拉伸变形的试样形状如图 7 所示, 它的左边是与鸟巢内壁相连的部分, 右边变形的部分是拉长的部分。用扫描电镜观察试样表面发现, 它的左端与孔洞内壁断口相同, 即带有烧损蚀坑的解理断口, 它的右端则带有高温塑性延伸的纤维状流痕 (图 8)。



图 2 鸟巢空洞处的低倍组织 1: 2.5

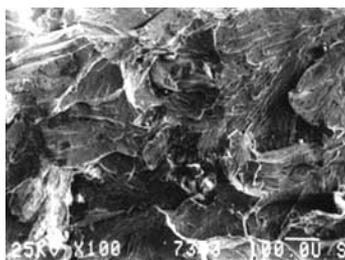


图 3 鸟巢内壁的二次电子象
解理断口 65×

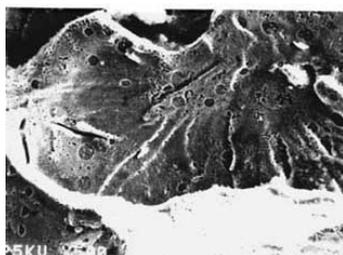


图 4 鸟巢内壁解理断口
断口上有规则形状的凹坑 400×

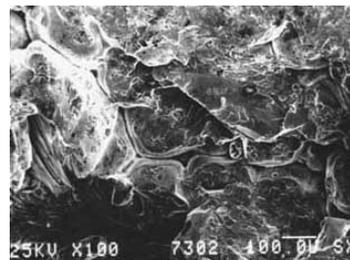


图 5 鸟巢内壁上极个别区域观察到自由表面——树枝晶 50×

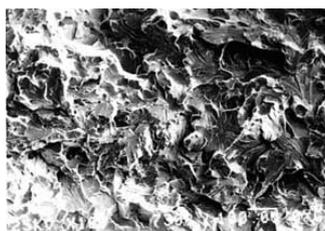


图 6 新断口的二次电子象
解理断口 解理扇较小 65×

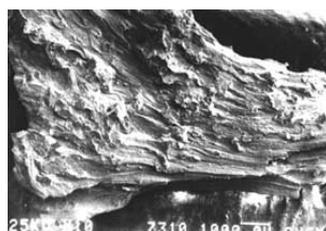


图 7 带有高温塑性拉伸形态试
样的外观形貌 6×

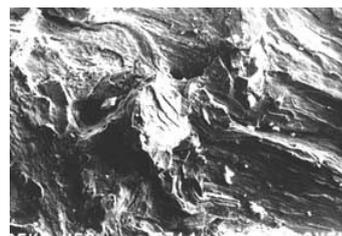


图 8 交接区的形貌, 左边与内壁相
连; 右边与变形部分相连 32.5×

5. 金相显微镜观察

为了验证有塑性拉伸变形的试样是否产生过较大的形变, 我们将该试样沿纵向磨平做金相观察, 发现它的左边 (与鸟巢内壁相连的解理断口处) 的夹杂物都未变形, 而右边的夹杂物都沿纵向有所伸长。从基体组织上看, 左边的组织无明显带状 (图 9), 右边则有明显的带状组织 (图 10)。这一观察结果证明, 鸟巢内壁上的突出点确实经过了高温塑性拉伸形变。

二 分 析

从初步的化学分析及低倍组织检验来看, 缺陷处的化学元素并无大的偏析, 有害元素含量也不高, 低倍上孔洞两侧均无缩孔、疏松、夹渣等缺陷, 可以初步判定鸟巢缺陷不是缩孔。扫描电镜对鸟巢内壁的观察说明, 它是钢在较低温度下断裂的脆性断口, 同时是在粗大晶粒

状态下断裂的。如果是缩孔或缩孔残余的内壁，则应该观察到大量的自由表面——树枝状晶。鸟巢内壁的二次电子图象也和热裂及冷隔中所观察到的断口根本不同^[1]，它们都没有大量解理断口。

解理断口表面上的凹坑，这可能是低熔点的夹杂物（例如硫化物）在加热到锻造高温时，由断口表面剥落后形成的。

从解理扇的尺寸大小来看，图3比图6粗大得多，这说明在经过锻造之后，因发生重结晶使晶粒细化，因而新断口（图6）的解理扇较小。由以上分析可以推断，鸟巢内壁的解理断口是在铸态未变形时形成的。

局部塑性拉伸形状，可以被认为是铸态钢锭断裂后尚有一部分金属互相连接，这部分金属在锻造时由于表面金属与锤砧摩擦力的作用，裂缝中心向两边延伸张开形成了特殊的纤维状流痕，因而呈塑性断裂。



图9 试样左边的金相组织，无明显的变形 80×



图10 试样右边的金相组织，铁素体明显呈带状分布 80×

三 结论

通过上面的检验与分析我们认为：

1. 对鸟巢缺陷的形成过程可以作如下分析：

35SiMn 钢导热系数较差，钢锭截面又较大，浇注后脱锭早，缓冷条件差，致使钢锭内部产生很大的应力，这主要是钢锭在冷却时的热应力，它的分布是表面受压，心部受拉，其拉应力最大峰值在中心附近^[2]。在心部拉应力的作用下，由钢锭心部的薄弱部位（例如缩松区——观察到的自由表面就是例证）产生开裂，而表面应力是压应力，因此从心部开始的断裂难于延伸至表面，故往往形成内裂。又因为轴向应力较径向应力和切向应力为大，所以横向内裂较多。资料^[3]也报导过由于冷却时的热应力而使钢锭中心产生裂纹进而在轧制后产生内部破裂的例子。

工件经高温（1200℃以上）加热并锻打，由于锤头及锤座与工件表面之间摩擦力的作用，心部金属较表面金属容易向两边变形流动，已产生了横向内裂纹的钢锭被锻打时，心部金属便向两侧流动，并且中心的开口为最大，形成了鸟巢的形状（图11）。

钢锭中内裂发生后，总有个别部位金属仍然连接在一起，这些部分在高温锻打裂口张开时，被塑性拉伸并断裂，这一点在电镜及光镜观察时已得到证实。

2. 鸟巢缺陷的内壁是钢锭（坯）在较低温度下的解理脆性断口，并且往往有锻轧时因高温加热夹杂物从断口上剥落的痕迹，它明显地区别于有大量自由表面（树枝晶）的缩孔、缩孔残余，也不同于铸钢中的冷隔和热裂。

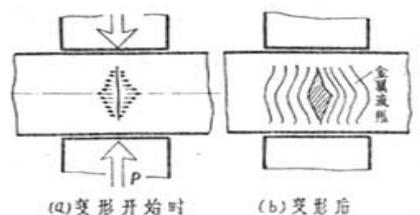


图11 锻造时鸟巢形成示意图

3. 预防鸟巢缺陷的措施主要是采取合理的脱锭缓冷工艺，以及控制钢锭加热时的升温速度，特别是对于那些导热系数小的合金钢大钢锭更要注意。减小热应力，预防钢锭中的内裂是防止鸟巢缺陷的根本措施。

在试验过程中，曾得到陕西钢铁研究所李玉茹同志的大力支持，参加这项试验的还有古宝运等同志，在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Dr-Eng. Kiyoshi Kita, Observation of Hot, Tears in Cast Steel by Scanning Electron Microscope, International Cast Metals Journal Vol. 6, No. 1, 1981.
- [2] 牛俊民, “大型工件热处理过程中的内裂及其预防”, 《金属热处理》, 1982, 8.
- [3] В. Д. 特洛费姆丘克, 钢材缺陷 (中译本), 冶金工业出版社, 1960

(文章在这次发表时有局部修改)



↑
访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注