

大锻件超声波检测中草状波缺陷的形成及消除

中国第一重型机械集团公司锻造分厂 (黑龙江 161041) 刘大琦

【摘要】大型锻件内奥氏体晶粒较为粗大且不均匀,细化奥氏体晶粒最有效的方法就是多次正火,正火对调整与细化晶粒具有显著效果。锻件超声波检测中出现的草状波,除通常认为是由粗晶所造成外,数量较多的微小裂纹或孔洞也可能产生草状波。在锻造过程中采取措施使变形中产生的裂纹得到充分愈合,及在锻后热处理中采取措施减小残余应力,可避免产生草状波。

草状波是大型锻件超声波检测中经常出现的一种缺陷,人们普遍认为草状波是由于粗晶而产生的。一旦在超声波检测中出现了草状波,最有效的处理方法就是通过正火,细化晶粒,消除草状波。但在生产实践中却发现,为防止出现草状波,在锻后热处理中进行了一次甚至两次正火的锻件,探伤时仍然可能出现草状波,看来对草状波的产生原因还有待于进一步探讨。

据目前报道所见,草状波的形成原因有两种情况:一种认为是由粗晶所造成的,这是普遍认同的一种观点;另一种情况是由微小裂纹和孔洞等缺陷造成的。可见,为防止锻件在超声波检测时出现草状波,就需在锻造和锻后热处理过程中,努力创造条件细化晶粒和防止内部出现微小裂纹。

1. 关于细化晶粒

之所以确信草状波是由粗晶产生的,是因为正火可以消除草状波,通过正火细化晶粒,同时消除草状波,由此推断草状波是由粗晶产生的。

大锻件内奥氏体晶粒较为粗大且不均匀,因而,细化晶粒是大型锻件锻后热处理中的重要任务之一。对于大型锻件,细化奥氏体晶粒的方法并不多,有文献介绍提高 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变区的加热速度可以细化奥氏体晶粒,但对于特别大的锻件要提高 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变区的加热速度是很困难的,因而

效果也很有限。

细化奥氏体晶粒最有效的方法就是正火,有时为了取得理想的效果要采用多次正火。无论从得到均匀奥氏体晶粒,或割断原始粗大晶粒与再奥氏体化后晶粒度之间的联系,都要求在多次正火中第一次奥氏体化加热温度稍高一些,这时奥氏体晶粒长得大一些,第二次奥氏体化加热时,应选用不致晶粒发生显著长大的温度。对于碳化物相对稳定的Cr-Mo-V钢,第二次奥氏体化时,还应同时考虑使解理面上的碳化物相当大程度地溶解,其后的冷却过程中可望以未溶细小碳化物为核心得到细小的贝氏体组织。

多次正火中多采用空冷或鼓风冷却,以降低转变温度得到较细的晶粒。为使锻件中心的过冷奥氏体分解温度下降和转变更充分,过冷温度应选得低一些。关于正火中的冷却速度是否会对晶粒细化的效果有影响,尚未见有关报道,况且对于大型锻件来说,快速冷却很难实现。

2. 关于微小裂纹的愈合

除粗晶外,会不会有别的缺陷也会产生草状波。深入了解草状波的本质对于制订合理的热处理工艺,防止草状波出现具有重要意义。对于冷轧工作辊辊坯在超声波检测出现草状波的部位切取试样进行了检验,发现在横向酸浸低倍试片的中心区

$\phi 50 \sim \phi 70$ mm的范围内密集分布着许多细小裂纹和孔洞,没有规律,裂纹最长不超过3mm。在纵向断口上沿加工方向呈条状或由孔洞组成的裂纹,裂纹内无夹杂物。

草状波也是一种缺陷波,只是在规定的灵敏度下达不到规定的缺陷当量。研究可见,草状波可能是由数量较多的微小缺陷产生的,由很多微小孔洞构成的疏松和数量较多的微小裂纹也会产生草状波。

人们普遍认为正火消除草状波的原因是因为细化了晶粒。但我们同时应该看到除细化晶粒之外,正火还很可能会使微小缺陷愈合,金属中的裂纹或孔洞缺陷在高温下无需塑性变形,保持一定时间即可修复,有时将其称为自修复。在试验中,可以将比较大的人工缺陷通过热处理而修复,即在一定温度下保温一定时间就可以使裂纹得到修复。对高温高压氢环境下304不锈钢中产生的氢腐蚀甲烷气泡和裂纹进行 $600^{\circ}\text{C} \times 6\text{h}$ 热处理,氢蚀气泡和裂纹发生了完全愈合。20MnMo钢中长6mm $\times$ 0.3mm的人工预制裂纹 900°C 以下修复速度较慢, $900 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ 修复速度加快, 1200°C 时完全修复。

有研究对五块经检测已报废的大型管板锻件进行了自修复方法的验证性试验。根据不同管板锻件的材料和尺寸,确定了加热时间、加热温度及保温时间。经高温处理后再次检测证实,其中两块缺陷完全消除,作为合格品出厂,另外两块夹杂裂纹范围已由原来的 $\phi 900\text{mm}$ 减少到 $\phi 300\text{mm}$,且单个缺陷当量也由 $\phi 14\text{mm}$ 降到 $\phi 9\text{mm}$ 以下,锻件基本合格。还用该法处理了6根报废的轴类锻件,也已完全合格出厂。可见,裂纹修复速度对加热温度有很强的依赖作用,延长保温时间对裂纹自修复有一定的促进作用。

3. 锻件内微小裂纹的产生及预防

高温塑性变形本身就是一个裂纹不断产生和修复的过程,在某些情况下,锻造过程中会有一些微小裂纹没有得到修复而保留下来。因而,在锻造过程中如何防止裂纹产生就是一项十分重要的任务。控制夹杂类裂纹的锻造方法,其主要措施是控制终锻火次及变形量,以修复前步锻造中有可能产生的检测可见夹杂类裂纹,即要求在普通锻造工艺中,

增加对终锻火次和变形量的控制。由于锻件内部未完全被夹杂物分隔的裂纹在一定条件下是可以修复的,所以可将半成品锻件返炉后于高温下保温,使锻件内部裂纹处的孔洞被充分填充,然后按压实所需变形量进行终锻变形及整形,压实内部仍存在的显微孔洞。

另外,大型锻件锻后热处理过程中会产生残余应力,残余应力的产生是由于锻件冷却过程中,内外温差较大,收缩不一致所造成的。当表面层金属降至较低温度时,如果内部温度仍较高,则表层收缩对内部产生压应力,而由于内部处于较高温度,容易发生塑性变形而使应力释放。

随着温度的降低,当内外层在较低的温度下达到均匀一致的温度时,则内部金属的收缩受到外层金属的牵制而产生拉应力,表层金属则受到压应力。这种残余应力的特点为表层为压应力,内部为拉应力,如果内部的拉应力过大,则有可能使锻件内部产生微小裂纹,而这些微小裂纹由于其尺寸小、数量多,在超声波检测时会形成草状波。

例如,钢由弹塑性状态过渡到弹性状态的温度范围是 $550 \sim 400^{\circ}\text{C}$,当大型锻件在此温度范围内冷却较快时,在锻件心部会产生残余应力,促使裂纹及白点产生。 400°C 以下,钢已处于弹性状态,此后快冷不会产生残余应力,但瞬时应力极有促使裂纹和白点产生的危险,因而冷却速度反而更缓慢。可知减小残余应力的措施就是控制冷却速度,采用较小的冷却速度。

4. 结语

(1) 大锻件内奥氏体晶粒较为粗大且不均匀,细化奥氏体晶粒最有效的方法就是通过正火处理,多次正火对调整与细化晶粒具有显著效果。

(2) 锻件超声波检测中出现的草状波,除通常认为是由粗晶所造成外,数量较多的微小裂纹或孔洞也可能产生草状波。

(3) 在锻造过程中使变形中产生的裂纹得到充分愈合,在锻后热处理中减小残余应力,可避免产生草状波。**MW**

(20111215)