

GH140 合金板材的焊接缺陷、 故障及焊接工艺的改进

侯玉年 王世望

一、前言

GH140高温合金在航空工业中已经使用了二十多年, 板材的钨极氩弧焊、点焊和缝焊均已大量用于航空构件, 通过有关发动机火焰筒和加力筒体的生产、使用 and 维修, 其焊接工艺日趋完善。本文仅对点焊和缝焊的常见冶金缺陷、故障和焊接工艺特点加以介绍。

二、点焊和缝焊的常见冶金缺陷

1. 焊核周围的局部熔化和胡须组织

焊接时由于温度和应力的作用, 在焊核周围容易产生晶界局部熔化。局部熔化区域小, 属于晶界熔化; 局部熔化区域大, 焊核中液态金属在电极压力作用下被挤入, 成为胡须组织 (见图1箭头1)。填满金属的、与母材熔合成一体的胡须组织, 虽然类似于热裂纹, 但只

要未延伸到母材表面, 则不作缺陷处理。未填满金属的胡须组织, 因其破坏了金属的连续性, 与裂纹的性质是相同的, 应作为缺陷处理。零件的长期试车和使用证明, 填满金属的胡须组织和局部熔化对使用性能无影响。

2. 结合线伸入和结合线夹杂

所谓结合线伸入系指点焊或缝焊核心的横断面上, 由两侧沿结合线进入到核心内的黑线 (见图1箭头2)。所谓结合线夹杂系指在焊核内的连续的或断续的夹杂, 不过它多靠近或聚集于结合线与焊核的相交处, 然后向焊核内伸展。连续夹杂与结合线连接呈弯曲状, 则称结合线伸入拐弯 (见图2)。结合线伸入端头分叉, 则称结合线伸入分叉 (见图3)。这类缺陷是比较危险的。从典型的故障零件的剖析中可以看到它们发展成裂纹的情况。在交变载荷和高温燃气的作用下, 这种裂纹逐渐扩

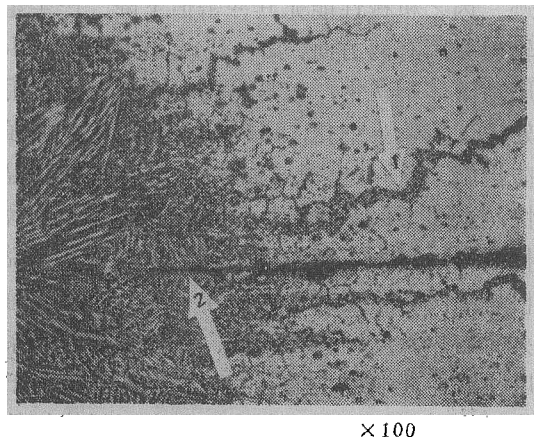


图1 缝焊焊核周围的胡须组织和结合线伸入

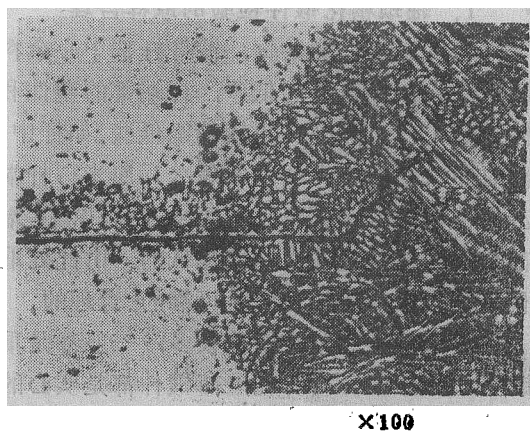


图2 缝焊焊核结合线伸入拐弯

本文曾得到钟祖桂同志的协助, 谨致谢意。

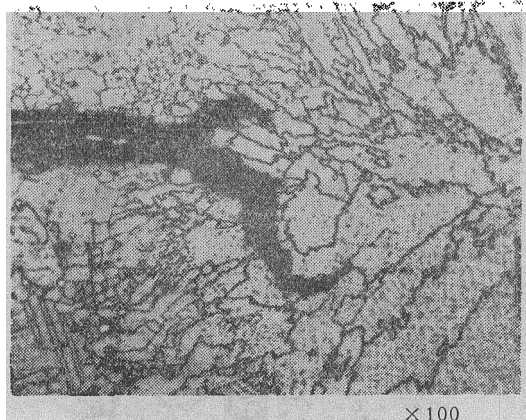


图 3 缝焊焊核结合线伸入分叉

展，由此而导致零件的断裂。

3. 焊核中的组织偏析

在缝焊焊缝的纵向试片中，可以看到明显的组织偏析，一般在焊核中间，最大长度可达1.95毫米（见图4），而在横向试片上可以看到枝晶边界的“加粗”现象（见图5）。合理选择规范可减轻偏析的程度。在工作温度为650℃的焊核中虽有枝晶，但析出相均匀分布（见图6a）。在800~900℃的焊核中晶粒内的析出相细小，而在晶界上析出相为较大的颗粒状（见图6b）。700℃、100小时时效的焊核的X光结构分析指出，析出相主要是TiC、Cr₂₃C₆及少量的铬、钼晶间化合物。长期试车和使用表明，尚未发现因这种偏析而造成构件的断裂。

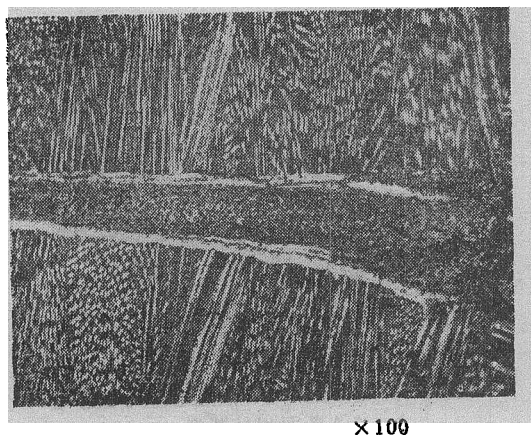


图 4 缝焊纵向试片的组织偏析

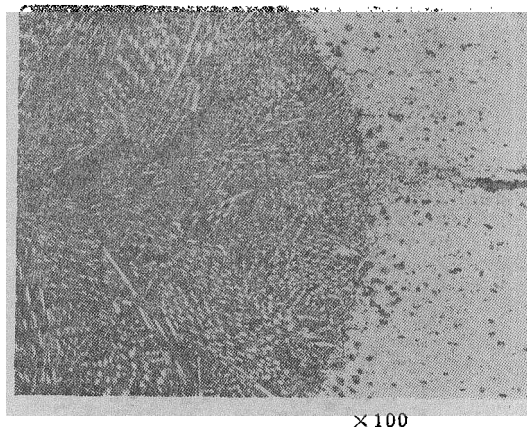


图 5 缝焊焊核的枝晶边界加粗

4. 焊核的内部缩孔

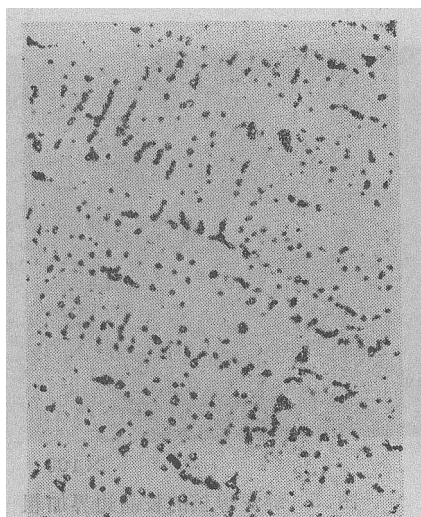
GH140 合金板材焊核内部缩孔比GH30合金板材的大一些，采用合适的规范，则内部缩孔的尺寸可小于1.5毫米。使用中尚未发现因这种缺陷而导致构件的破坏。

三、典型的故障零件

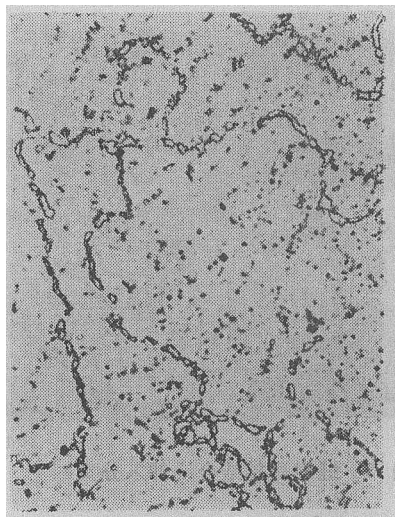
翻修的320个火焰筒中，有5个是因火焰筒中间段与结合环的缝焊焊缝下缘出现裂纹而报废（工作时间为200小时）。这5个火焰筒中，最长的一条裂纹，竟长达120毫米，最短的有50毫米。从图7a所示的金相照片可以看出，裂纹沿着焊核和母材交界的边缘裂开。从图7b上可清楚地看到，裂纹沿焊核边缘扩展，一直扩展到母材中，最后造成板材表面裂开。

把经过试飞的六台发动机进行剖析，发现其中3台加力筒体一段纵向缝焊焊缝边缘严重裂纹。图8为其焊缝裂纹和焊核金相照片，可以清楚地看出焊核沿结合线伸入处断裂。断口的电镜观察表明，有清晰的疲劳条带（见图9）。由此证明缝焊结合线伸入，在交变载荷的作用下，发展成疲劳裂纹。

上述典型故障零件都是因为结合线伸入而发展成为裂纹的。聚积的结合线夹杂在使用中也会发展成裂纹，使零件产生疲劳断裂。

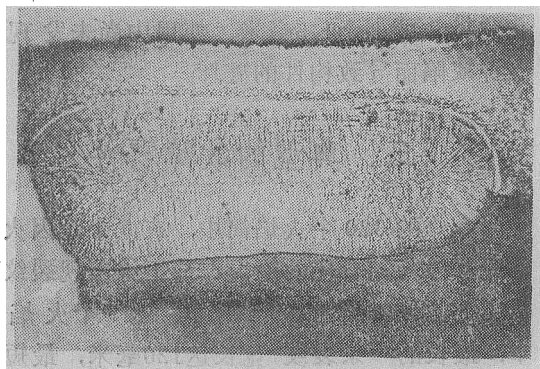


a. 工作温度为650°C ×1000

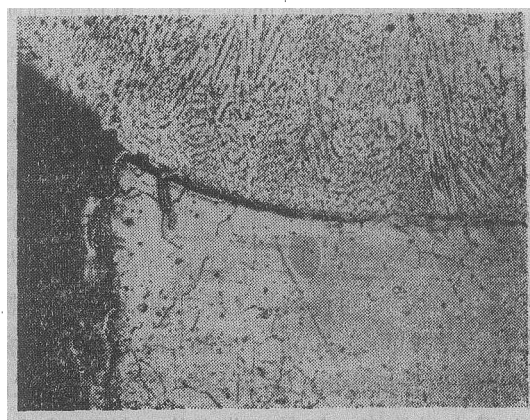


b. 工作温度为800~900°C ×1000

图 6 试车后焊核中析出相的分布



a. 焊核一侧断裂 ×15

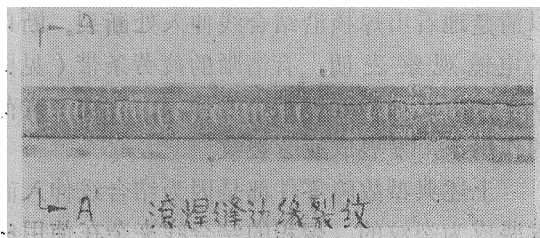


b. 图7a箭头所示的焊核断裂处的放大 ×100

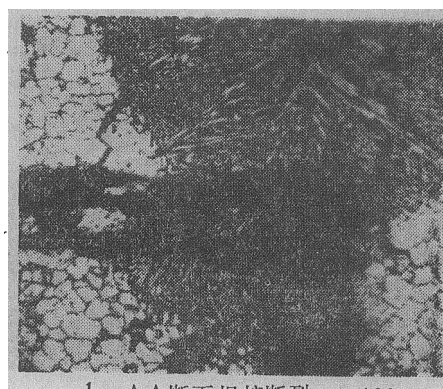
图 7 火焰筒中间段与结合环的焊核

四、焊前板材表面 清理方法的改进

点焊和缝焊的主要缺陷是结合线伸入和结合线夹杂。多年来，我们发现一些高温合金焊



a. 焊缝裂纹

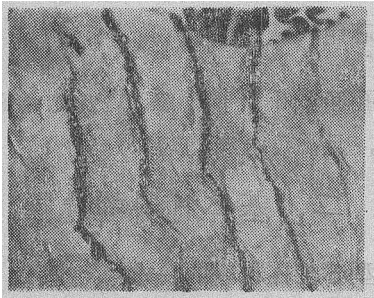


b. AA断面焊核断裂 ×100

图 8 加入筒体一段纵向缝焊故障件

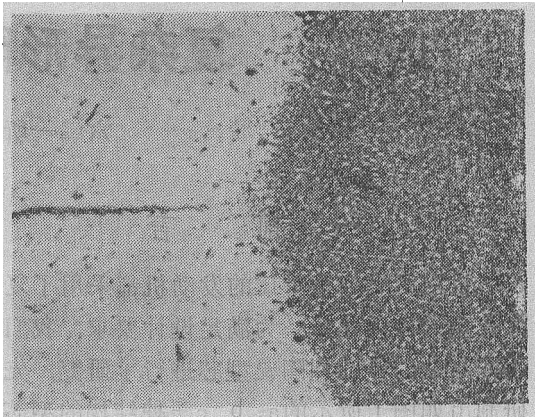
前板材表面质量是影响这种缺陷产生的直接因素。如果在表面质量不佳或清理不当的情况下，试图调整焊接参数和改变合金的铝、钛含量都是徒劳的。大量的试验证明，改进焊前板

材表面的清理方法，能有效地防止结合线伸入。



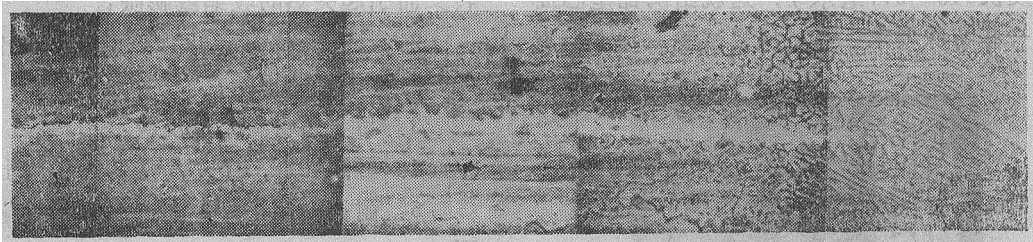
×9200

图 9 断口上的疲劳条带



×100

图 10 焊前板材酸洗的缝焊焊核

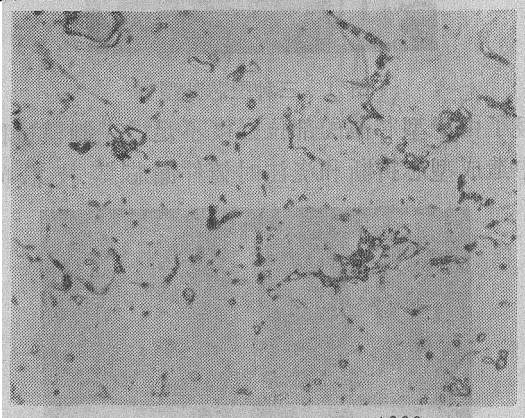


×9800

图 11 缝焊焊核结合线的扫描电镜照片（焊前板材碱洗）

酸洗或碱洗可以有效地克服结合线伸入和夹杂，图10示出酸洗方法所形成的焊核，结合线端头在远离焊核处停止，端点离焊核边缘的距离为0.1~0.3毫米，母材在这段长度上是一种无焊核的连结。虽然，这种焊核形成的接头扩大了焊接接头的受力面积。图11所示为碱洗方法形成的焊核的扫描电镜照片，从照片可以清楚地看到，在焊核边缘和结合线端头之间存在一条亮白线，金相磨片的观察表明，此亮白线区是两板的连接区域（见图12）。X射线微区分析表明，这个区域的铬含量明显降低，而镍含量则明显提高。这是由于板材在固溶处理过程中，表面形成氧化膜，紧靠氧化膜的里层又有一层贫铬层，碱洗将板材表面的氧化膜清除后，贫铬层即显露于表面，因此焊后在焊核结合线处仍保留了下来。试验表明，碱洗后缝焊焊核状况与酸洗的相同，同样扩大了焊接接

头的受力面积。



×1000

图 12 图11中亮白线区的放大

总之，GH140合金板材缝焊的常见冶金缺陷中，结合线伸入和结合线夹杂是最危险的缺陷，在使用中会发展成裂纹，使零件产生疲劳断裂。因此建议焊前板材采用酸洗或碱洗，以防止这类缺陷的产生。