

用扫描电镜二次电子象观察分析金相组织

南昌飞机制造公司 吴建辉

本文通过扫描电镜观察分析金相组织，并在较低倍数下将同一磨面的扫描电镜照片和金相照片进行了对比，可以看出两者的对应关系。说明在较低倍数下用扫描电镜观察分析金相组织在很多情况下是可行的，并可发挥扫描电镜分辨本领高等优点；但由于两者成象原理不同，显现的同一组织会有一些的差别。

一、前言

扫描电镜在观察分析金属样品时，相对于金相显微镜而言，其分辨率要高得多，焦深也大得多。所以人们常用扫描电镜观察分析高低不平的金属断面，而用金相显微镜来观察分析金属抛光面的金相组织。

我们利用 AMRAY-1000B 扫描电镜对部分金相磨片进行了观察，并在较低倍数下将同一磨面的扫描电镜照片和金相照片进行了对比，其中扫描电镜观察时，磨片化学浸蚀得较深。通过试验和对比，我们认为应用扫描电镜观察分析金相组织对大多数金属样品来说是可行的。并能在观察分析中发挥扫描电镜分辨率高、放大倍数大并能连续变化等优点。

但是，由于两种仪器的成象原理不同，所以用它们来观察同一个样品时，其组织形貌也不尽相同，有时还有

较大的差别。

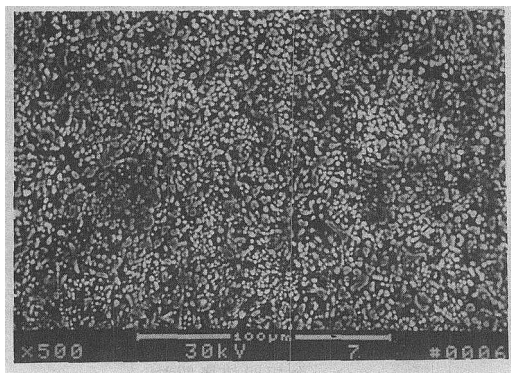
二、试验与分析

1. T8A 钢

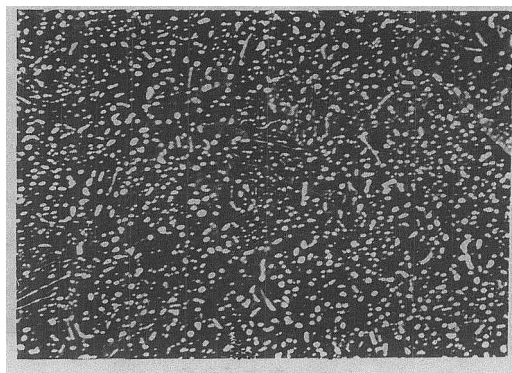
T8A 钢经球化退火、磨光、抛光、深浸蚀后用扫描电镜观察，由于碳化物比铁素体耐腐蚀，所以凸出于铁素体基体的碳化物颗粒发亮，而铁素体基体较暗，如图 1a 所示。这和金相相衬照片（图 1b）相似。

该组织在金相显微镜明场观察条件下，铁素体和碳化物均较亮，而两者交界处则是暗的，这和扫描电镜二次电子负象照片相似，见图 1c 至图 1d。

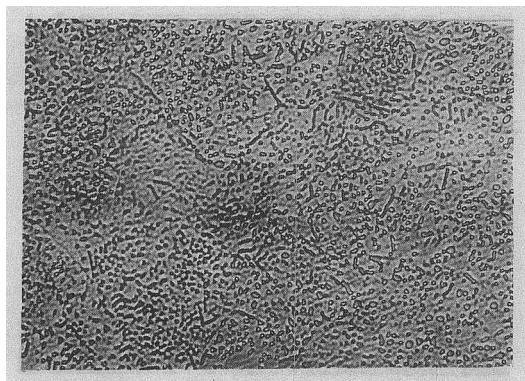
可见，用扫描电镜观察金相组织时，利用二次电子正负象及金相不同照明条件可得到相似的象。由于扫描电镜分辨率高，可把金相组织放大到数千倍，以致上万倍



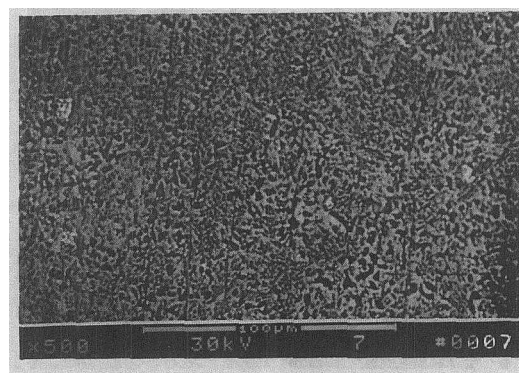
(a) 二次电子象正象



(b) 金相相衬照片



(c) 金相明视场照片



(d) 二次电子象负象

图 1 T8A 钢显微组织铁素体基十粒状碳化物对比 500×

进行观察；还可以配合波谱仪和能谱仪对微小相粒子进行成分分析，而这些资料在金相显微镜下是不可能得到的，这是两种方法的差异。图 2 是将图 1 组织放大到 5000 倍的情况，可以看出，在高倍下碳化物粒子成象仍很清晰。

2. 黄铜 (H62)

在扫描电镜下， α 固溶体 (即锌溶于铜中的固溶体) 呈亮色，黑灰色是 β 相 (铜锌电子化合物 CuZn)，如图 3a 所示。

金相显微镜明视场 (图 3b) 与二次电子负象很相似。但由于金相显微镜对样品表面划痕很敏感，所以照片上可见到明显的磨削划痕，而扫描电镜照片上就见不到这些划痕。这是因为在较低倍数下金相显微镜的灵敏度比扫描电镜的要高。

3. 40 号钢退火组织

在金相显微镜明视场下，该钢退火组织由白色铁素体 (呈网状) 和黑灰色片状珠光体组成，如图 4a 所示；其扫描电镜二次电子负象示于图 4b。对比结果表明：扫描电镜下观察时，显微组织中的珠光体比金相观察结果更清楚。将二次电子象放大到数千倍，组织仍很清楚。

4. ZL104 铸铝

未经变质处理的 ZL104 组织在金相明视场下，由白色 α 固溶体和深色粗针状硅相组成，如图 5a 所示。

在扫描电镜下，二次电子负象和金相明视场照片相似，如图 5b 所示。

三、结束语

从以上的试验和对比可以看出：

(1) 用扫描电镜和金相显微镜观察金属材料同一个磨面的金相组织时，只要试验条件选择适当，在大多数情况下是可以得到相似的组织形貌的。但必须注意它们之间的差别。

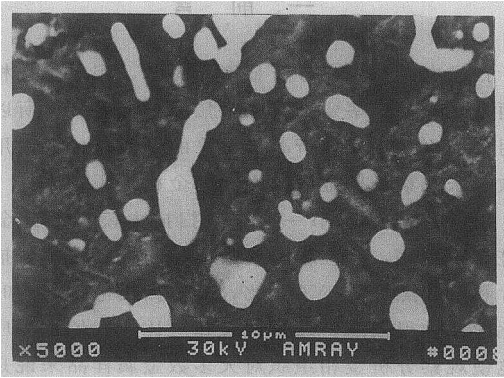
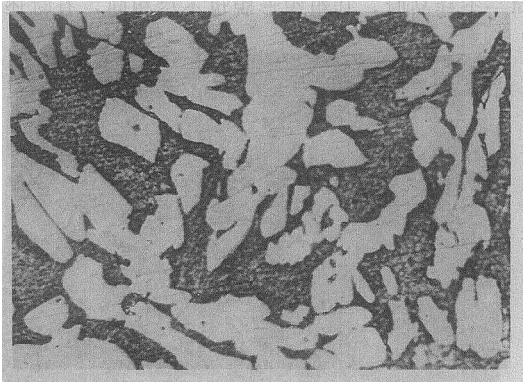


图 2 T8A 显微组织 (白色为粒状碳化物，黑色为铁素体基) 的二次电子象正象 5000×

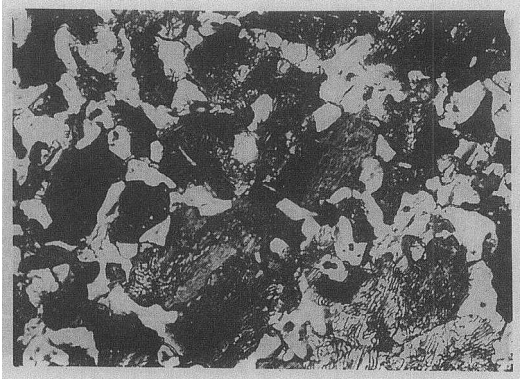


(a) 二次电子负象

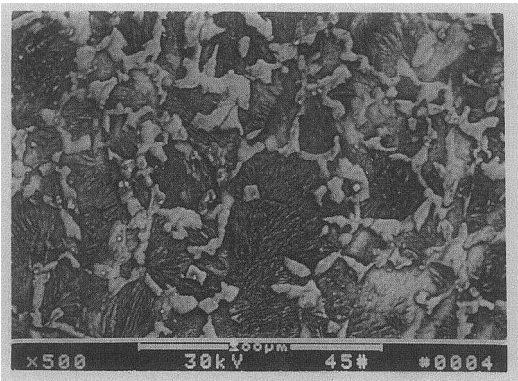


(b) 金相明视场照片

图 3 H62 黄铜显微组织 (α 相 (白) + β 相 (深)) 对比 500×

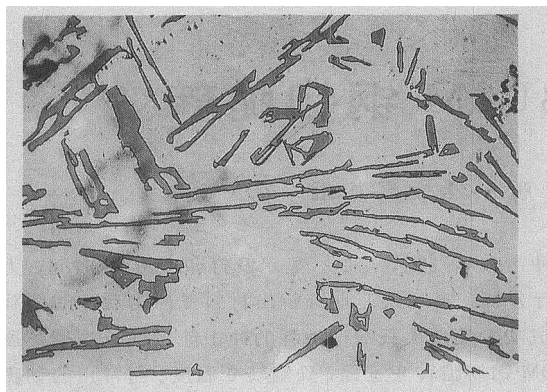


(a) 金相明视场照片

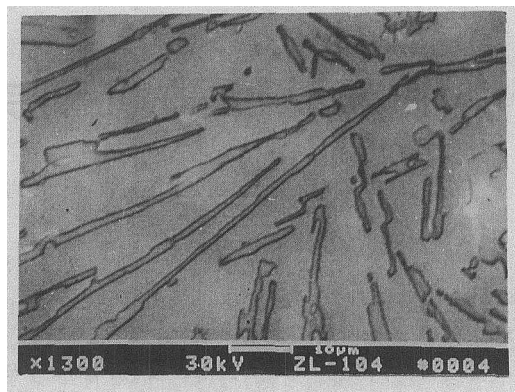


(b) 二次电子象负象

图 4 40 号钢显微组织 (铁素体 (白) + 珠光体 (深色)) 对比 500×



(a) 金相明视场照片 500×



(b) 二次电子象负象 1300×

图5 ZL104 铸铝显微组织 (α (基) + 硅 (灰色针状)) 对比

(2) 扫描电镜在观察分析金相组织时,可以发挥其分辨本领高、放大倍数大并可连续变化等特点;但试验过程比光学金相复杂,且代价要高,只能在某些特殊需要的情况下应用。

(3) 用扫描电镜观察分析金相组织时,可利用其附属

设备 X 射线能谱仪或波谱仪定性或定量分析金相组织中相的成分。

(4) 扫描电镜分辨本领虽大大高于金相显微镜,但其灵敏度却比金相显微镜低。所以,在大多数情况下要采用深腐蚀来加大各相之间的高度差。

* * * * *

起落架钢的发展

尽管未来飞机中金属总重量将明显减少,但可以预料钢的比例不会下降很多。普遍认为,大应力区和重载荷部位将继续依赖航空航天特种钢。从成本-效率角度分析,对于许多起关键作用的部件(如:起落架构件、操纵面传动装置以及发动机齿轮传动装置和传动轴)来说,钢继续是唯一的首选材料。

起落架钢制造中所采用的工艺方法不同于一般工业用钢。大多数起落架钢是采用二次重熔工艺制造,以防止有害的非金属夹杂和偏析的形成。该工艺既能细化组织又可提高韧性。

在美国一家特种钢制造厂(SES),其制造工艺是:采用超纯钢技术(UCSP)制成优质电极,随后在真空下电弧重熔(VAR),或在精炼炉渣或熔剂条件下电渣重熔(ESR)。

最初的熔炼在电弧炉中进行,随后在真空电弧除气炉(VAD)中精炼。电极的铸造采用特制的耐火材料和封闭式浇铸技术。SES 研究表明,原料电极的质量对于保证最后锻块具有最佳表面和最佳性能是非常重要的。专用的超声检验装置能够保证产品满足最严格的要求。

复合材料、非金属材料 and 陶瓷材料的缺点之一是成品检验比较困难。但是钢的受检能力明显优于复合材料,这是因为钢的质量可以依靠不同的检验方法进行检验。例如:在陶瓷材料中,引起失效的裂纹通常小于 $50\mu\text{m}$,因此用无损检验(NDT)技术难以发现。相比之下,用于飞机起落架的高强度钢,如 AMS6419 (即 300M 钢) 和 35NCD16,其断裂韧性值分别为 $55\text{MP}\sqrt{\text{m}}$ 和

$80\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 。这些数值给出限定的缺陷尺寸约为 0.5mm 和 2.2mm,用精心研制的 NDT 技术是可以检验出来的。

下表列出起落架构件最常用的几种钢:

牌号	类 型	拉伸强度, MPa
AMS6419	$1\frac{3}{4}\% \text{NiSiCrMoV}$	1930
AMS6418	$1\frac{3}{4}\% \text{NiSiMnMoCr}$	1520
AMS6411	$1\frac{3}{4}\% \text{NiCrMo}$	1520
AMS6414	$1\frac{3}{4}\% \text{NiCrMo}$	1795
35NCD16	$4\% \text{NiCrMo}$	1850
DTD5212	$18\% \text{NiCrMo}$	1800
S98	$2\frac{1}{2}\% \text{NiCrMo}$	1200
S132	$3\% \text{CrMoV}$	1320

飞机制造厂希望减少飞机总重量,这意味着传统的重大部件,如起落架将成为主要研究对象。设计部门期望在减轻重量的同时获得更高的性能。为了减轻重量需要提高强度,但是同样重要的还包括同时改善韧性、耐热性和抗腐蚀性能。现代航空系统新的刹车设计方案是在突然中断起飞的情况下,对起落架构件施加较高的瞬变温度。事实上,可能遇到的高于热处理使用温度的这一瞬变温度,有可能危及部件在通常环境温度下继续安全使用。

为防止这种不测事件的发生,通常的补救办法是检查可疑的部件并进行必要的更换。然而,SES 将把此项研究工作引向研制能承受这一瞬变温度而不影响其性能的材料,从而增加一个额外的安全系数。

尽管特种钢作为起落架构件的主要材料的地位无可争议,但 SES 已认识到迫切需要继续前进一步。航空航天工业作为一个整体,要求设计部门和钢的制造厂更好的紧密合作,研制出最佳的合金来。

(钱军)