

# 影响氢脆断口形貌因素的研究

袁新泉 冷 松

由于氢的存在与作用,使材料的力学性能受到损失,塑性下降尤为显著。在微观上,氢会改变裂纹扩展的方式,使得在一定载荷条件下本应是穿晶的韧性破断转变为脆性破断。对于工业用材料,这种脆性破断往往以沿晶方式出现。

充氢试样断面上出现的脆性断口的部位及形状,究竟与哪些因素有关?有些学者已进行了研究并作了报导。例如,有人对氢助开裂的紧凑拉伸试样侧面抛光并观察,发现加载一定时间后,在试样表面形成两翅膀状的塑性区。然后,裂纹的前沿穿透到表面,翅膀状塑性区消失。在接着承载一定时间后,新的翅膀状塑性区又在新裂纹前形成,裂纹就这样一步步向前扩展。由此,他们得出材料吸氢,造成了氢致塑性延迟破断(HIDP—C)。

有的学者观察了裂纹的发展过程及分析了断口形态后提出了另一种看法。认为在试样的中心部位氢致裂纹的扩展是连续的,至于靠近试样的表面,因处于平面应力状态,应力往往可因塑性变形而松弛,并在表面留下一条塑性断裂狭带。

上述观点对裂纹扩展的方式及靠边缘的塑性断裂带的形成虽有不同看法,但认为试样的中心区为氢致断裂区则是一致的。

为了弄清氢致裂纹的扩展行为,本文对40CrMnSiMoVA高强度钢(简称为GC-4钢)进行了多种类型的氢致开裂试验,并用光学显微镜及扫描电子显微镜对断口进行了详细观察。

如材料没有充氢,当外加应力强度低于 $K_{Ic}$ ,裂纹不会扩展;如继续增大应力值,使之达到或超过 $K_{Ic}$ ,则裂纹失稳扩展并断裂。这样断裂的断口宏观特征是断口中部区有明显的纤维花样,断口的边缘呈45°角的斜断面,称之为剪切唇。在高倍下,纤维花样断口处观察

到等轴韧窝,而斜断面上则为典型的拉长韧窝。

对于充氢试样,尽管所受应力低于 $K_{Ic}$ ,但在承载一定时间后,试样还是出现了破断。这个断裂过程显然不同于失稳断裂,我们称之为延迟破断。与失稳断面相比,延迟破断断面有很大的不同:在断口起始位置为粗糙小晶面组成的断口区域,然后是纤维状断口,这两种断口形貌的界线很清楚(见图1)。在高倍下观察,发现粗糙断面区为典型的沿晶断口(见图2),这正是氢致破断的特征。

当试样被加载后,沿裂纹前沿应力分布是不均匀的。在中心部位为平面应变三轴张应力,

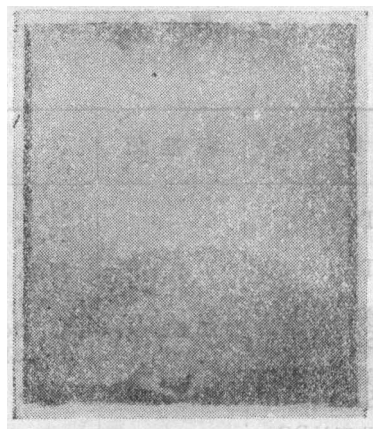


图1 充氢试样断口形貌,断口粗糙区呈抛物线形,中间部位深度最长

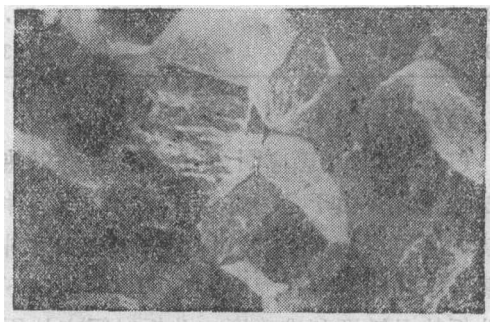


图2 粗糙区为典型的沿晶断口 ×1000

应力最大。在裂纹前沿附近的溶解氢，由于浓度梯度的驱使，向裂纹前沿最大应力处扩散并在那儿富集。因在体心立方晶格内，氢的固溶度很低，绝大多数氢聚集在位错或晶界，使系统能量状态降到最低。这些集聚的原子氢形成分子氢，并产生很大的内压力，使晶界的界面结合力大为下降。当受一定载荷时，试样中心部位便出现以沿晶为特点的氢脆断裂。靠近表面附近，因为弹性约束的消失而出现平面应力状态。由于应力减小，氢的富集量显著减少，在这局部区域内材料仍有很好的塑性，裂纹以塑性撕裂的方式向前扩展，因而边缘仍为斜断口。

上面所描绘的氢致断裂形貌并不总是正确的。试样经同样处理，受到同样应力的断口形貌就有明显不同(见图3)。从照片上可见该断面也有纤维断口区 and 粗糙断口区，但两区的交界线不成抛物线形。在粗糙断面上还有一“孤岛”，此“孤岛”断口形貌为韧窝花样，这表明该区域不是氢致断裂断面。根据显微组织观察，发现钢材中有长条状的硫化物。因为硫化物与周围基体之间的结合是很不致密的，在拉伸应力作用下，硫化物会和基体脱开，成为输送氢的十分有利的通道。因而在断裂面的孤岛上氢的含量极少，它最后以瞬时破断的形式裂开。这种现象相当于出现钉扎效应，使中心附近的裂纹扩展速率不可能太快，形不成抛物线。

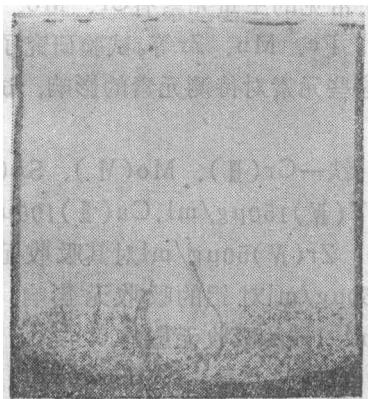


图3 充氢试样断口，粗糙区不呈抛物线形状，且粗糙区内有“孤岛”，断面较细腻

另外，有个试样经电解充氢24小时。因时间不是足够长，因而在试样四周表面氢浓度较高，而中间部位几乎没有渗入氢。当受到同样的载荷后，试样断口的形状与前两种又完全不同。中间部位不再显示出氢致断裂的特征，靠两侧面，因为氢的浓度较高，裂纹扩展时，有氢的来源，在相当长的距离内，都显示出氢致断裂的特征(见图4)。氢致断裂面的形状又跟应力状态及氢浓度分布有关，是这两者共同作用的结果。



图4 阴极充氢，时间不足，粗糙断面分布在两侧面

(参考文献从略)

×× ×× ××

(上接第38页)

加工费633元。二者相比， $\phi 5 \times 25$ 的要比 $\phi 10 \times 50$ 的节省原材料重量125%，节省材料费88%，节省加工费45%。 $\phi 5 \times 25$ 的成品费为15元/根， $\phi 10 \times 50$ 的成品费为120元/根；仅我所一年以2000根(片)计算，即可节省原材料、材料费、加工费、电费合计5万元左右，还可为国家节省大量高温合金及其它贵重合金。

该装置也可用于其它设备，如用于英国1196试验机。有关P-Δ1装置、试样尺寸、引伸计的精度及标定方法、放大倍数对 $\sigma_{0.2}$ 的影响、偏心率的检查方法及对性能的影响、拉伸速度对高温性能的影响等都有详细资料。以上资料有需要者或有改装要求的单位请与本刊联系。