

中脊马氏体的特异现象

Specific Phenomena of Middle-ridge Martensite

供稿|万民 / WAN Min

内
容
导
读

文章介绍了一种实验中获得的特异马氏体组织，该马氏体组织尺寸大并且模样奇特，可以用“大而奇”来形容。组织尺寸长达0.19 mm，模样奇怪表现为该特异马氏体组织能生成奥氏体中脊，甚至生成近乎相互垂直交叉(接近90°)的两条奥氏体中脊。这种特异马氏体组织在一般情况下是观察不到的，为了不让奇迹悄然消逝，让更多读者了解这一奇特现象，共同探讨相关机理，是笔者撰写此文的初衷。笔者认为马氏体中脊就是晶界，指出马氏体相变的动力是压应力，而相应的切应力是由压应力衍生的产物。

马氏体是金属材料的一种组织。谈马氏体相变首先要谈“中脊马氏体”。高碳马氏体形态中有一种类似于双面凸透镜形状，两个凸面间还夹着一根“筋”(一个平面)，好似竹叶的形状，这根“筋”被称为“中脊”，这种马氏体组织被称为“中脊马氏体”。前辈学者在马氏体相变的实验中观察到试样的抛光平面上出现了浮凸现象，并由此提出马氏体生成的切变理论模型(图1)^[1]，认为马氏体在切应力作用下，从中脊面(中间面)开始向两侧生长，而且中脊面是“不变平面”。显然，按照这个模型，中脊面是一个几何面，即实际上不应超过一个原子层的厚度。

中脊的性质

实验一：试样为发动机的挺柱。由于挺柱一端与凸轮(轴)摩擦，因此该端部使用耐磨材料，而另一端使用普通材料即可。发动机挺柱试样制作工

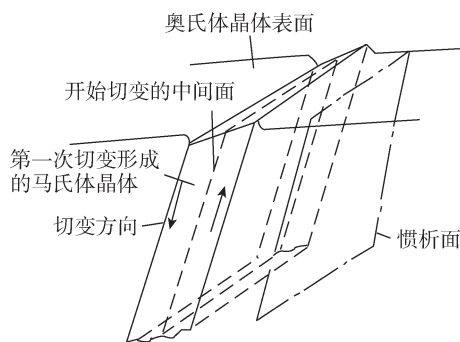


图1 马氏体生成的切变理论模型(本图参见《马氏体相变与马氏体》^[1])

艺为：在普碳钢(0.45% C)棒料($\phi 35$ mm)的一端开一个深4 mm的 $\phi 28$ mm凹槽。槽内放入耐磨铸铁粉末，成分为C3.4~3.8，Si1.7~2.0，Mn0.60~0.85，Ni0.3~0.6，Mo 0.40~0.65，Cr0.7~1.1。用高频感应加热，熔化钢棒端部粉末的同时冷却普碳钢棒料(图2)，勿使棒料过热，直至耐磨铸铁粉末凝固为铸

铁。最后,进行400℃消除应力回火。由于冶金材料的不均匀性,最终在熔化区形成两个区域、两种组织,上层形成碳化物区,下层形成马氏体加残留奥氏体区(图3)。观察马氏体区,得到图4所示的一组晶相组织照片。

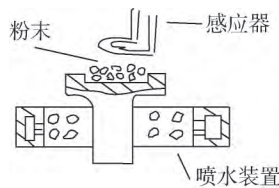


图2 发动机挺柱的耐磨端制作工艺示意图

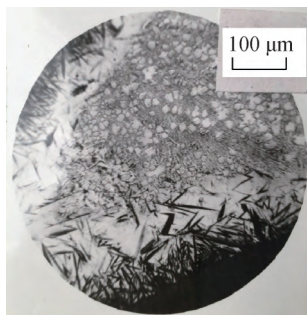


图3 熔化区的组织形貌

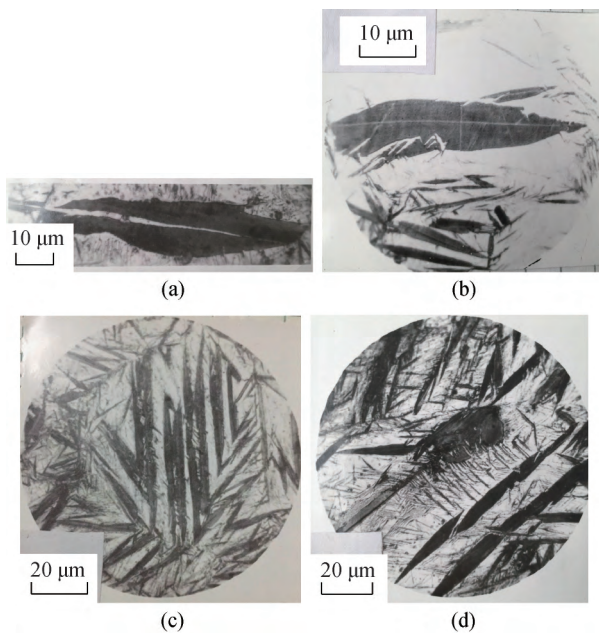


图4 马氏体区的晶相组织照片

在图4(a)中,观察到两个马氏体晶粒之间夹着一条窄窄的残留奥氏体组织,好似中脊马氏体的“中脊”。图4(b)中的马氏体很像中脊马氏体,但是能看

到两条近乎垂直的残留奥氏体“中脊”,把马氏体一分为四。图4(c),(d)两图显示的是成片平行生长的中脊马氏体和次生马氏体束,形象近似于低碳马氏体束。

图4(a)和(b)中出现的确实是中脊马氏体吗?“中脊”为什么出现残留奥氏体组织,中脊真是不变平面吗?带着这样的疑问笔者对马氏体试样的连续抛光面进行了连续观察(图5)。

可以看到,图5(a)~(d)中两片马氏体晶粒间夹着一条奥氏体组织,随着抛光层的深入,中脊部位的奥氏体逐渐减薄,两侧的马氏体晶界逐渐合拢,最后两条晶界合为一体变成中脊并一直延伸到马氏体的另一端。如图6情形,可知中脊即晶界,而两个马氏体晶界间存在残留奥氏体是很正常的。

实验二:用球墨铸铁(C3.4~3.6, Si2.0~2.3, Mn0.3~0.6, S≤0.025, P≤0.07, Re0.02~0.04, Mg0.035~0.065)试样淬火,抛光浸蚀(全部试样用4%硝酸酒精浸蚀)后观察,此时试样中除了球墨以外只有淬火马氏体和残留奥氏体两种组织存在。组织中的晶界有:奥氏体和奥氏体的、马氏体和马氏体的、奥氏体和马氏体的晶界。选择淬火试样是为了排除回火马氏体对结果的干扰。本实验设计中只有晶界受浸蚀(图7)。

由图7可知,淬火马氏体和残留奥氏体基体不受浸蚀,中脊和原奥氏体晶界受浸蚀最深且程度一致。由此可知中脊的组织和马氏体基体的组织是完全不同的。晶界是高密度位错,易浸蚀,而中脊也易浸蚀,由此可知中脊应该是马氏体晶界而不是马氏体。

两个实验都显示中脊就是晶界,中脊两侧是两个孪生的马氏体晶体。

应力分析

热胀冷缩现象是众所周知的现象。钢在淬火时急剧冷却收缩时各晶粒受到的都是压应力,并没有外来的切应力。那马氏体形成时的切应力从何而来?

晶体是由晶格组成的,当压应力与晶格的任一个轴成角度时,就可以分解为几个和晶轴相互垂直或平行的分力。因为压应力是成对出现的,所以分

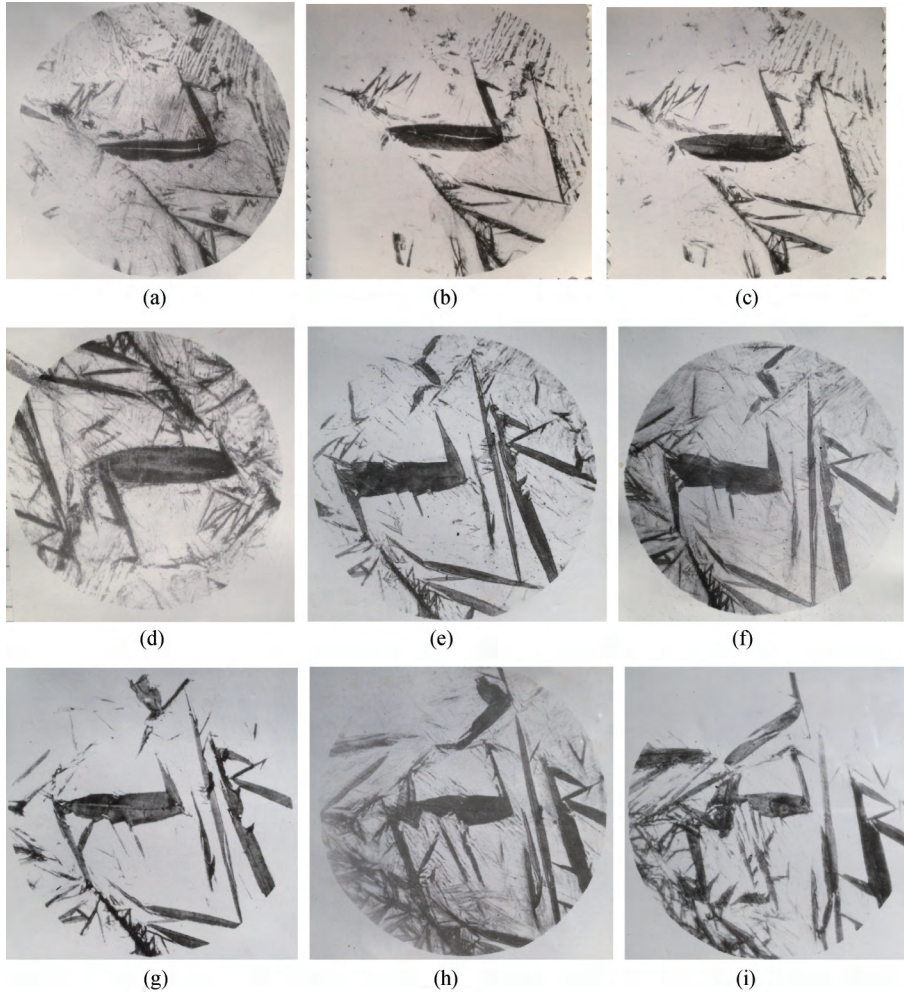


图5 试样连续抛光面的马氏体组织形貌

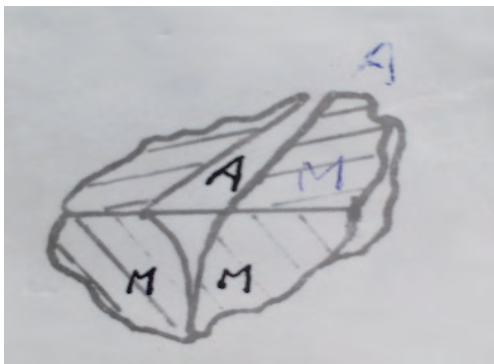


图6 中脊为两个马氏体晶界

力也是成对的。每对分力在投影方向对晶格(轴)形成切应力。而应当注意的是一对切应力之间的力臂应该趋于零。如果一对力大小相同,方向相反,作用在同一物体上而力臂不趋于零,它只是一个力偶。

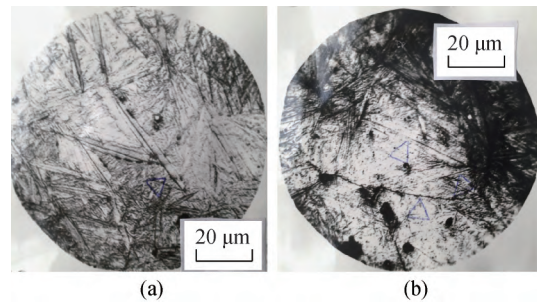


图7 淬火试样4%硝酸酒精浸蚀后的组织形貌

可使物体旋转,而不是产生切变。

马氏体相变时,在外界压应力的作用下,晶格垮塌重组。金属原子在切应力作用下相互产生滑移。类似于压力试验中的情况。

实际的中脊马氏体,中脊笔直而连续,各点的应力方向一致,是典型且惟一的剪切应变平面。而

其外边界为凸透镜形曲线甚或有破碎状(图8),其上各点的应力方向都不一致,不存在统一的切变应力,也就没有切应变。也就是说,中脊马氏体的外边界上不会出现如图1所示的整体的平移。

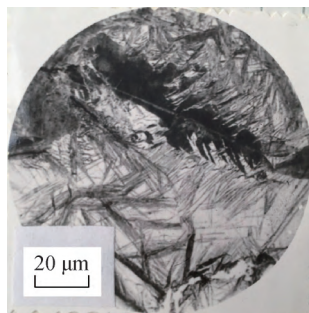


图8 外边界为破碎状的中脊马氏体

推论

中脊马氏体形成过程可归纳为:

(1) 淬火时材料冷却收缩,所有晶粒受到压应力。

(2) 在压应力作用下,晶格内的最薄弱部分首先垮塌,原子间产生位移,发生位置改变。

(3) 在压应力的分力作用下,最先垮塌的晶格沿着某一晶面产生滑移,形成切变,产生了中脊面。

(4) 中脊面的切变带动了两侧晶格的原子发生位置调整,生成了马氏体组织。同时生成至少两个孪生的马氏体晶体。而图4(b)出现的两个方向的中脊,

应该是两个方向的切应力下形成的,当然这需要进一步讨论。

由于都是在压应力下形成,故而也可解释低碳马氏体和贝氏体的成因,以及类似的相变。而中脊马氏体的针形也是和压应力区相对应的。

结束语

笔者在工作中遇到的这些特异的马氏体现象,对照马氏体切变理论难以完全解释。比如,中脊是什么?切变的马氏体外形为何并不整齐?经过分析发现,马氏体切变理论中说的第一次切变,实际只是一个扭转,并不是切变,只有力偶,并没有切应力,各原子间的晶格相对位置都没有变化,因此解释不了中脊现象。因此笔者认为此理论有缺陷。而马氏体的形状和马氏体受到的应力状态与压应力有关。因此,针对这些问题做一些阐述和推理,都还是40年前的旧事,不再新潮,企盼对马氏体理论的完善能有所贡献,是我之所愿。

参考文献

- [1] 徐祖耀. 马氏体相变与马氏体. 北京: 科学出版社, 1999
- [2] 钢铁热处理编写组编. 钢铁热处理. 上海: 上海科学技术出版社, 1979

作者简介: 万民, 男, 高级工程师, 北京工业大学金属材料专业毕业。退休前一直从事热处理工艺及材料检测工作, 联系电话: 010-63396733。



摄影 刘继鸣