

利用晶界技术提高镍基及铁基超合金的焊接性能和使用寿命

镍基和铁基超合金通常应用于高温的场合,例如用于制造喷气式发动机和燃气涡轮机的零部件,其中包括轮机叶片(738合金)、涡轮盘、涡轮叶轮(如V-57合金)和燃烧室/燃烧器外壳(如625合金),以及压气机和涡轮机机壳。超合金根据它们在超过绝对熔化温度的80%的温度下所能保持的拉伸强度的能力区别于更为传统的“不锈”合金。在800℃和1000℃之间的持续温度(在存在硫的情况下—硫沿着晶界扩散而形成 Ni_3S 、 CrS 或者 Cr_2S_3 ,通称为“钉子”)使这些合金易于受到由“热腐蚀”、疲劳和蠕变造成的晶界劣化。在晶界处的热腐蚀和硫化物“钉”最终导致了抗拉强度、抗疲劳强度和冲击韧性强度的下降。

同钴基超合金相比,经弥散强化的镍基和铁基合金一般来说可焊性较差,这就限制了V-57、738和合金100这样一些合金应用于需由个别零件焊接构成复杂几何形状部件的场合。这一直是耐高温弥散强化合金能否应用于燃烧室零部件的主要限制。可焊性与合金中的Al含量和Ti含量直接相关。 γ' 由这些成分(如 Ni_3Al 、Ti)所形成,这种相成分是造成高温强化、沿晶界处弥散沉淀而导致了在焊接热影响区(HAZs)的热裂纹(焊接裂纹)和焊后热处理(PWHT)裂纹。

由于提高燃料利用率和燃烧效率的努力使得现代工业燃气轮机中的燃气轮机入口温度不断增加,提高抗晶界劣化的能力已经成为开发应用超合金主要的焦点。在这同时,工业燃气轮机的使用寿命(10^5 小时)须比喷气发动机/航空零部件(这些合金原来就是为此而开发的)的使用寿命更高一个数量级的要求又着重强调了这些材料的长时间可靠性和耐久性。由传统的通过合金添加剂控制金

属间化合物相 γ' (NiAl_3)和碳化物相(MC 、 M_{23}C_6 、 M_6)的化学成分、分布和生长(成熟)而衍生出一代又一代的超合金并同时提高了性能。然而不幸的是对于热传导性和相稳定性的考虑实际上限制了合金化作为进一步提高耐腐蚀性、抗蠕变性、耐疲劳性和强度性能的手段。单晶、定向凝固、陶瓷和扩散势垒叠加结构成分如 NiAl_3 和 MCrAlY 提供了优越的耐疲劳性、耐腐蚀性和抗蠕变性;然而这些结构成分的应用增加了成本并降低了生产率。而且,在典型的工作应力下,象氮化硅这样的陶瓷的断裂韧性和临界破坏尺寸几乎比镍基合金小两个数量级,这样就大大地限制了这些耐高温材料的可靠性。

相对于由高价“ Σ ”关系式表征的“普通的”或“无规则的”晶界而言,具有可以用晶体学上的重合结点晶格(CSL)结构中的低- Σ 值($\Sigma \leq 29$)来描述的错误取向的晶界可以显示出优越的防扩散性、耐腐蚀性和抗裂纹性,以及阻止滑移和空隙的出现。目前正在不断认识的晶界结构特性关系和配合使用新的允许对足够大量的晶界进行描述表征以估计对低倍性能的影响自动化技术方面的进展已经有可能使晶界结构达到最优化和使材料的使用性能达到极限化。结果,无数的研究显示,这些晶体学上的“特殊”晶界的出现率 F_{sp} 可以在各种镍基的、铁基的、不锈的和其它的有色合金的显微组织中不断增加,从10%达到50%的程度。

业已存在的证据表明,高比率的特殊晶界可以稳定钝化氧化层,同时大大减少了局部晶界侵蚀。经过专门处理的,其显微组织中80%的晶界为特殊晶界的合金600和合金800已经显示出抗晶间腐蚀的实际效果。此

外,最近已得到证明,特殊晶界的成分超过50%的钝镍的显微组织显示出其稳定态蠕变率和起始蠕变应变分别提高了14倍和4倍。而且,降低了固溶偏析、开裂和空隙倾向提供了能使合金因低循环疲劳和焊后热处理所引起的裂纹的生成和扩展的敏感性降至最低的潜力。同传统的合金开发方法相比较(在这里适用于使一种性能得到提高的处理方法往往降低了其它方面的使用性能),这些合金中的晶界结构最优化可以同时提高抗蠕变性、耐腐蚀性、耐疲劳性以及可焊接性能。此外,因为改变晶界结构并不一定要带来合金化学成分的变动,这些性能的提高将不会对导热性和/或相稳定性产生有害的影响。

为了研究在镍基和铁基超合金中的特殊晶界是否能达到足够的出现率以使合金在可焊接性、抗蠕变性、耐腐蚀性和耐疲劳性(这些超合金的功能性和可靠性取决于这些性能)方面有显著的提高,在加拿大多伦多安大略海德罗技术研究所(Ontario Hydro Technologies, Toronto, Canada)工作的科学家E.M.LEHOCKEY, G.PALUMBO和P.LIN使用列于表1中的合金成分做了一系列的试验。他们采用了一种有专利权的热机械处理方法对一部分交货状态的试样进行了晶界处理,这种处理方法包括一系列的变形和温度范围在975℃~1200℃之间的再结晶-退火步骤。经过晶界处理的V-57合金和738合金然后在738℃和843℃的温度下进行沉淀硬化处理16和24小时。他们对处理过

的试样进行了耐腐蚀性测试、可焊性测试和力学性能测试。最后,我们得出了如下的结论:

1. 低- Σ 特殊晶界的出现频率可以显著地提高具有很多成分和应用各种强化机理(如沉淀强化、固溶强化等)的镍基和铁基超合金的性能。可以达到的低- Σ 特殊晶界的出现频率值在50%和70%之间,出现在这些合金的传统的显微组织中的特殊晶界含量每增加10%至20%就可带来3倍的低- Σ 特殊晶界的出现频率值的增加。此外,引入这些显微组织中的特殊晶界表现出足够的热稳定性使之能长时间经受850℃的工作温度。

2. 在镍基和铁基超合金中的焊接热影响区中的焊后热处理裂纹主要局限于显微组织中无规则的晶界中。结果,朝着进一步提高特殊晶界含量的方向改变分布在这些合金中的晶界特性表现出裂纹密度和裂纹扩展深度的降低,这些合金的可焊性提高至50倍之多,这要取决于焊接技术和几何形状的考虑。

3. 相对于传统的镍基和铁基超合金来说,含有百分比大于50%的特殊晶界的显微组织的镍基和铁基超合金在耐腐蚀性、抗蠕变性和耐疲劳性方面分别提高了50%、90%和50%,而在这同时实际上却没有显示出拉伸强度和展延性的恶化。由此,在这些超合金中的最优化晶界结构提供了这些潜力(1)延长使用寿命,(2)提高可靠性,和(3)在象喷气发动机和陆基涡轮气轮机零部件那样的重要应用中使零件更换成本最低化。

表1 超合金625, V-57, 和738LC的标称成分、一次强化和破坏机理

因素	合金 625	合金 V-57	合金 738LC
条件→ 强化→ 主要破坏机理 工作温度℃ 应用	锻造 固溶强化 晶间侵蚀、蠕变 500 至 800 燃烧室	锻造 沉淀强化 $\gamma' + M_xC_x$ (碳化物) 疲劳、蠕变可焊性 700 至 900 叶轮/圆盘	铸造 沉淀强化 $\gamma' + M_xC_x$ (碳化物) 疲劳、蠕变可焊性 900 至 1000 叶片
元素	成分(wt%)		

Ni	61.0	27.0	63.1
Cr	21.5	14.8	16.0
Fe	2.5	52.0	-
Co	-	-	8.5
Mo	9.0	1.3	1.8
W	-	-	2.6
Nb	3.6	-	3.5
Al	0.2	0.3	3.5
Ti	0.2	3.0	-
Mn	0.2	0.7	-
Si	0.2	0.7	0.1
C	0.05	0.1	0.1
B	-	0.01	-

(钱玉麟译自《Metallurgical and Materials Transaction》Vol.29A, No. 12, 1998, P. 3069)

第三届欧洲连铸会议召开

第三届欧洲连铸会议在钢公司联盟 (UNESID) 的组织下, 于 1998 年 10 月 10-23 日在西班牙马德里举行。

本届会议显示了连铸在钢铁工业中的特别重要性。连铸工艺在世界的钢产量中占 79.8%, 在欧洲的钢产量中占 95.2%。会议讨论了世界范围连铸工艺取得的进展, 以及从其实际应用, 包括确保近终形的最大铸造宽度范围的设计所取得的经验。工艺技术研讨会包括从二次钢包冶金到连铸成

固态的半成品的整个传统工艺或近终形工艺的各个步骤, 所进行的工艺开发、研究成果和技术革新等论文的交流。

在会议过程中, 在会场上马德里的 Palacio de Congresos 公司, 以及主要的设备制造商展示了他们的新产品和新技术。这个技术和商业展览会期望吸引大量的参观者和会议的代表。

(李殿魁译自《MPT》1998, No. 4, P. 42)

在 Fe - Ni - Cr₃ C₂ 基合金上用电子射线形成镀层的特性

电子衍射独一无二的特性是可保证表面上的高温, 大的加热速度, 温度梯度, 能量集中, 这就允许获得用传统工艺得不到的镀层, 即电子射线得到的镀层具有特殊的性能和变性的层结构。本文提出了铁 - 镍 - 碳化铬系在电子射线作用下形成的组织和性

能实验研究结果。选择该材料主要出于以下因素: 1) 由于工艺加工处理在某些专用航空部件的局部区域获得了耐磨和耐热镀层; 2) 为了研究原始杂质组元百分含量和温度梯度, 加热时间及冷却对镀层组织形成过程, 相的成分及性能的影响, 同时确定获得