

添加鈦對鎳鋁介金屬化合物粒界熔化之影響¹

Influence of Hafnium Additions on the Grain Boundary Melting of Ni₃Al Intermetallic Compounds

張添財²

Ni₃Al 介金屬化合物具高熔點，高強度。且為超合金中重要的強化相 (γ') 之一。含大量 Al，比一般超合金具較低密度，而在氧化或腐蝕性環境中，可因表面生成保護性之氧化鋁，而獲致良好的抗氧化及抗腐蝕性，因此成為最具發展潛力的高溫結構材料之一。單晶 Ni₃Al 極富延性，但多晶 Ni₃Al 卻因粒界弱化而有嚴重之沿晶脆斷問題存在。在 Ni₃Al 中添加微量 B，有效改善其室溫延展性。並藉著控制 B 含量、合金化百分比、及熱機處理，可使其常溫伸長率達到 50%。當第三合金元素 Hf 添加時，可利用固溶強化，增加其強度及抗潛變性。

添加 Hf 之 Ni₃Al 介金屬化合物，在 1250 - 1340 °C 熱處理 20 分鐘後，由於 Hf 合金元素在粒界富集，降低粒界區域材料之熔點，而引起粒界熔化現象，由此造成材料沿晶脆斷傾向，隨著熱處理溫度提升，會增加粒界熔化程度及沿晶破壞傾向。由斷面所呈現粗糙斷面為粒界熔化區域，而平滑面者為未熔化之粒界，且這種粗糙面與平滑面之比有隨熱處理溫度之升高而增加，表示粒界熔化量增加。對破斷面成份以 EDX/SEM 分析，發現粗糙斷面之粒界熔化區呈現較高之 Hf 及較低 Al 含量，而平滑面呈現幾乎和晶粒內一樣之合金含量。金相觀察發現在粒界熔化區會形成層狀之共晶組織，經鑑定證實為 γ' 相及 Ni₅Hf 相之組織，且粒界熔化區域含富 Hf 及貧乏 Al，而 Ni、O 含量則與晶粒內部並無明顯差異。

1. 本論文曾刊登於 Scripta Metallurgical et Materialia.

2. 張添財先生為機械科講師。

將不同含 Hf 量之合金進行熱差分析 (DTA)，顯示當合金開始熔融時，會產生吸熱現象，引起斜率漸漸偏離基準線，這是合金晶界初熔的結果，這種晶界初熔之溫度可視為合金之固相線溫度；而在 DTA 曲線中有兩個明顯之吸熱峰，前者應為 τ 與 τ' 之共晶溫度，因合金為雙相 ($\tau' + \tau$) 組織，故在加熱時會發生 τ 與 τ' 共晶反應；而後者之吸熱峰為合金完全熔融時之溫度，可視為液相線溫度。隨著 Hf 添加時，有降低固相線、 τ 和 τ' 共晶溫度及液相線之傾向，且隨著添加量增加時，其作用增強。若以線性分析，添加 1at.%Hf 時，固相線溫度下降 27.4 °C， τ 與 τ' 之共晶溫度下降 7.1 °C，而液相線溫度，約降低 13.7 °C。由此發現合金中 Hf 含量增加時，會增加粒界熔化程度及降低粒界熔化之溫度。

粒界熔化使得 Ni₃Al 合金在高溫加工或熱處理時發生破壞，增加施工之困難度。同時，亦會使其焊件之熱影響區發生粒界熔化引起龜裂，因而造成焊接失敗。所以在合金設計，利用添加 Hf 強化機械性質的同時，亦須考慮此種粒界熔化所造成之沿晶破壞的問題。