



變形加工對鎳鋁鐵基介金屬合金之影響研究

A study on the deformation effect on the Ni-Al-Fe-X intermetallic alloys

計畫編號：NSC 89-2216-E-034-005-

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：曹春暉

中國文化大學材料科學與製造研究所

† 八十六年度及以前的一般國科會專題計畫(不含產學合作研究計畫)亦可選擇適用，惟較特殊的計畫如國科會規劃案等，請先洽得國科會各學術處同意。

一、中文摘要

以合金法添加大量 Fe 原子到 NiAl 中可改變其單相微結構而成為多相之枝蔓狀組織。其組織主要為硬脆之 B2 相枝蔓及較軟且具延性之 L1₂ 相枝蔓間組織。而此複合結構之枝蔓狀組織強烈影響 Ni-25Al-xFe 合金之室溫機械性質，並使 Ni-25Al-27.5Fe 合金在此合金系統中具有最佳之拉伸性質組合。繼續以此合金為主添加第四元素 Cr，則可進一步提昇鑄造狀態之機械性質。本篇論文即在探討這系列合金之微結構對變形加工之影響。

關鍵詞：Ni-Al-Fe-X 合金、鉻、機械性質、熱加工

Abstract

The present work investigated the microstructures, mechanical properties and the effects of hot working on the Ni-Al-Fe-X alloys. The aim is to get an understanding of the relationship among the microstructures, the mechanical properties and their hot workability. The results revealed that the suitable additions of Fe can change the NiAl from a single β' -phase granular structure to a multi-phased dendritic one. Because the major plastic deformation was supported by the γ -phase in the interdendrite, the alloys with such a microstructure could possess better mechanical properties.

Keywords：Ni-Al-Fe-X alloys, chromium,

mechanical properties, hot working

二、緣由與目的

NiAl 介金屬化合物相對於鎳基超合金而言，具有熔點高、比重低及熱傳導好等優點，但其本質上的缺點為在室溫下呈脆性，且在高溫下缺乏強度，使其缺乏應用性。如何改進這些缺點即為 NiAl 介金屬合金是否能商業應用之關鍵，這方面相關的研究主要採取合金法、快速凝固製程及添加複合強化相等製程技術改善之。

在先前的研究中[1, 2]，成功的以合金法來改善 B2 結構之 β' -NiAl 介金屬化合物的機械性質。由於這些合金在鑄造狀態及簡單短暫的熱處理之後，即能擁有如此優良的機械性質，因此進一步研究加工處理對此合金微結構及機械性質的影響，方能瞭解這類合金取代超合金在高溫領域的可行性。因此，本計劃旨在研究 Ni-Al-Fe-X 合金之變形加工製程參數及加工後機械性質的變化，以深入瞭解變形加工對此系列合金影響之學理，更可兼顧此合金商業應用之可行性。

三、實驗方法

本實驗設計之 Ni-Al-Fe-X 合金之成份如表 1 所列，所用之合金元素 Ni、Al、Fe 及 Cr 之純度均高於 99.9%。合金之熔配步驟為先將計算好之純元素置於氣氛保護之電弧爐(Arc-Melter)中反覆熔煉 4~5 次以確保合金元素混合均勻；將合金塊取出經過噴砂、清洗處理後，再置於電弧爐中以落

鑄法 (drop-casting) 將合金鑄成 1cm × 3cm × 10cm 之鑄塊，並取部分試片進行熱加工以探討其加工行為，熱加工過程包含熱鍛及熱滾壓加工，加工溫度均為 1000°C。

表 1：Ni-Al-Fe-X 合金之化學成分。

alloys (at.%)	Compositions of the alloys (wt.%)			
	Ni	Al	Fe	Cr
Ni-25Al-20Fe	64.3	13.4	22.3	
Ni-25Al-25Fe	58.6	13.5	27.9	
Ni-25Al-27.5Fe	55.8	13.5	30.7	
Ni-25Al-30Fe	52.9	13.5	33.6	
Ni-25Al-32.5Fe	50.1	13.5	36.4	
(Ni-25Al-27.5Fe) ₉₉ Cr ₁	55.2	13.4	30.4	1.0
(Ni-25Al-27.5Fe) ₉₉ Cr ₂	54.6	13.2	30.1	2.1

Ni-25Al-xFe 合金之微結構分析包含光學顯微鏡、掃描式電子顯微鏡及穿透式電子顯微鏡觀察。相鑑定包含 X 光繞射分析及穿透式電子顯微鏡之電子繞射分析。組成分析是使用掃描式電子顯微鏡之能量繞射分析儀。機械性質測試則包含微硬度測試及拉伸測試。

四、結果與討論

鑄造狀態之 Ni-Al-Fe-X 合金的微結構為典型之枝蔓狀(dendritic)組織[1-4]，枝蔓間區域具有相當之寬度且呈現明顯之共晶組織，枝蔓間組織內之第二相為桿狀型態。以 X 光繞射分析只可分析鑑定出兩個相存在於鑄造狀態之 Ni-25Al-xFe 合金內，即 fcc 結構之 γ 相及 ordered bcc (B2) 結構之 β' 相。但是若以 TEM 對其作電子繞射分析則可觀察到枝蔓區域為 β' 相，而枝蔓間組織則為 β' 相顆粒、 γ 相基地加上許多 γ' 相析出物。因此，合金內共有三相： β' 相枝蔓組織、 γ 相枝蔓間組織及其內部之 γ' 相析出物。此系列合金在經過 1000°C、4 小時之退火熱處理後，鑄造時的內應力所產生之應力條紋(contours)已完全消失，顯示內應力已消除。同時，以 X 光繞射分析可發現熱處理同時也降低整體合金之排序性(ordering)。

此系列合金的加工性實驗，是全部在大氣下進行實驗。首先，將試片置於 1000°C

的高溫爐中加熱，再取出以鍛打機施以熱鍛處理。結果顯示，截面積約 30 mm × 80 mm 的試片，鍛打前厚度為 10 mm，而熱鍛處理僅能加工到約 5~6 mm，亦即是加工量約為 40~50%，如圖 1 所示；而截面積約 12 mm × 80 mm 的試片，鍛打前厚度亦為 10 mm，而熱鍛處理則能加工到約 3 mm，亦即是加工量約為 70%，這種加工量不同的原因，是由於截面積大的試片所受到之平均壓應力較低的緣故。經過熱鍛之試片，有些試片會出現裂縫，如圖 2 所示，但是這些試片的裂縫都是只有一條。

Ni-25Al-20Fe 熱鍛後

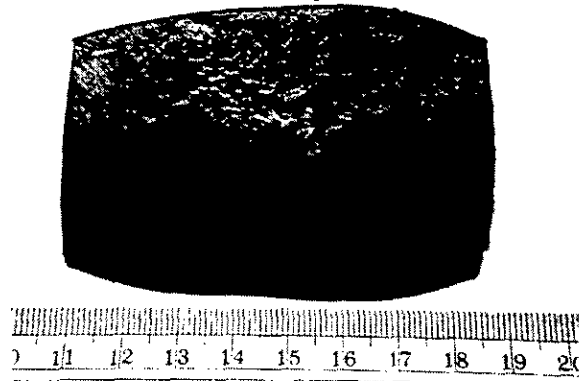
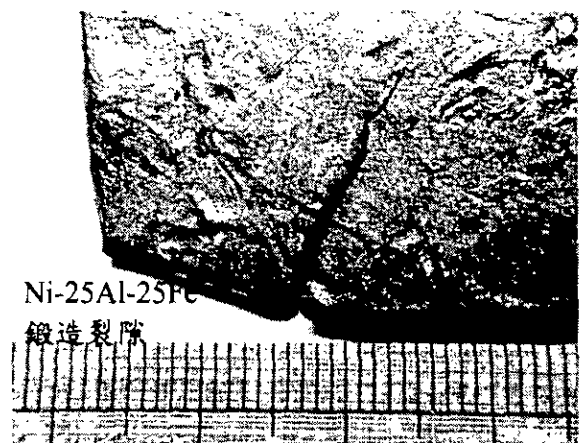


圖 1：Ni-25Al-20Fe 合金之熱鍛後情形。



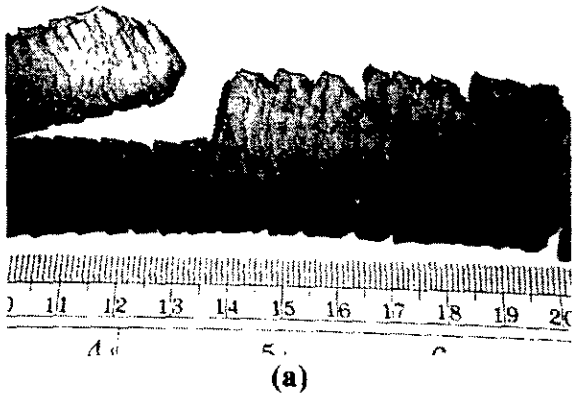
Ni-25Al-25Fe
鍛造裂隙

圖 2：Ni-25Al-25Fe 合金之熱鍛裂口。

將這些經過熱鍛的試片再置於 1000°C 的高溫爐中加熱後，取出施以熱滾壓加工處理，滾壓機是室溫狀態。結果顯示所有經過滾壓加工的試片均產生鋸齒狀裂痕，如圖 3 所示。在加工過程中，加工量不論大小，即每道滾壓步驟的加工量從 5% 改變到 20% 都具有相同的結果，即是試片發生

嚴重的龜裂現象。

(Ni-25Al-27.5Fe)₉₉Cr₁ 熱鍛+熱滾壓



(Ni-25Al-27.5Fe)₉₉Cr₁ 熱滾壓後之裂痕影像

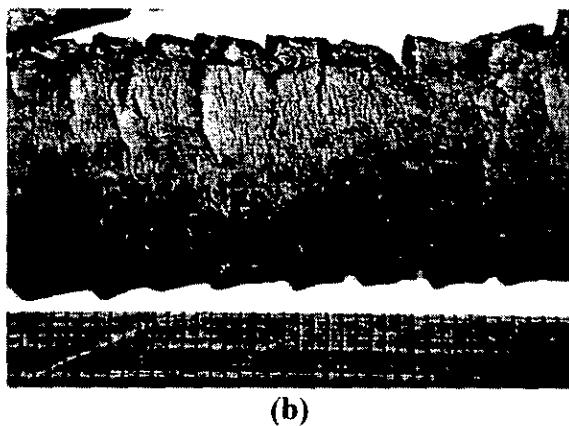


圖 3：(a)及(b)為(Ni-25Al-27.5Fe)₉₉Cr₁ 合金經過 1000°C 熱滾壓加工後產生之裂縫情形。試片均事先施以熱鍛處理。

這些合金的熱鍛加工後及熱滾壓加工後的微觀金相，是取自加工後的試片，經由一般切割、研磨、拋光及蝕刻等過程而得。熱鍛後 Ni-25Al-20Fe 合金的試片金相如圖 4 所示。圖 4(a)為正向的金相，即直接受到鍛打的平面，圖 4(b)則為縱向的金相照片，圖中的箭頭即標示鍛打方向。由於熱鍛加工的加工量僅有 40~50%，加工量並不高，所以圖 4 中並無顯現明顯的織構優選方向。另外，若觀察在鍛打過程中所形成的裂縫金相，則可明顯看出這些裂縫的行經路徑是沿著晶界行進，如圖 5 所示。

此系列合金在熱鍛後及熱滾壓加工後，其微結構金相如圖 6 所示，呈現明顯的織構組織。由於試片經過熱滾壓後，均會產生明顯的鋸齒狀裂縫，因此詳細觀察這些裂隙的發展模式。將這些發生裂隙的

試片依照一般金相步驟處理，結果如圖 7 所示。裂隙的行進路線均是沿著晶界進行。由於介金屬合金具有強烈的序列化 (ordering) 情形，所以晶界通常均為此類合金的弱點。在本實驗中，鑄塊均是成型於水冷銅模中，雖然冷卻速度仍未達到快速凝固之範圍，但是鑄塊中與銅模接觸所形成的急冷區仍然是晶粒狀結構組織，而這種組織所具有的晶界即為裂隙成長及行進之路線。



(a)



(b)

圖 4：熱鍛後 Ni-25Al-20Fe 合金的試片金相：(a)為正向的金相，(b)為縱向的金相照片，箭頭所標示的方向即為熱鍛加工方向。



圖 5：熱鍛加工形成之裂縫行進路線情形。

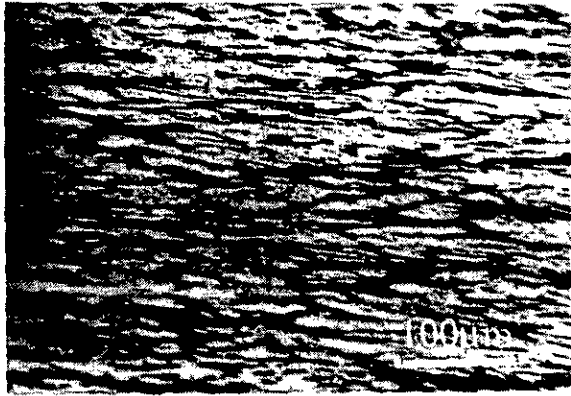
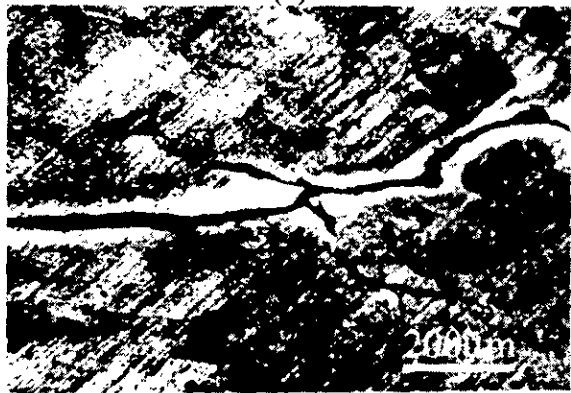


圖 6：(Ni-25Al-27.5Fe)₉₉Cr₁ 合金經過熱鍛及熱滾壓加工後之組織。



(a)



(b)

圖 7：(Ni-25Al-27.5Fe)₉₈Cr₂ 合金經過熱鍛及熱滾壓加工後之裂隙行經路線，(a)及(b)均顯示裂隙沿晶界行進的模式。

因為經過熱滾壓加工之試片均會產生裂痕，所以無法取試片作拉伸測試。而此系列之合金的鑄造狀態及熱加工後狀態之硬度測試如表 2 所示，比較表 2 中的硬度值，可以得知熱加工並不能提高其硬度值。根據參考文獻[6]，此系列合金的加工溫度應該不低於 1200°C，而本計劃所能取得之設備無法達到如此高之溫度，所以無法順利完成加工測試之實驗。

另外，本計劃在國科會的經費支持下，本年內共計發表了 5 篇論文，包含兩篇國際 SCI 期刊論文[3, 4]、一篇國際會議論文[6]及兩篇國內材料年會論文[7, 8]。

表 2：Ni-Al-Fe-X 合金之鑄造狀態及熱滾壓加工後之微硬度測試結果。

合金	鑄造	熱加工	備註
Ni-25Al-20Fe	318	343	熱鍛
Ni-25Al-25Fe	344	350	熱鍛
Ni-25Al-27.5Fe	356	338	熱鍛
Ni-25Al-30Fe	374	337	熱鍛
Ni-25Al-32.5Fe	366	342	熱滾壓
(Ni-25Al-27.5Fe) ₉₉ Cr ₁	380	339	熱滾壓
(Ni-25Al-27.5Fe) ₉₈ Cr ₂	392	361	熱滾壓

五、結論

在 Ni-Al-Fe-X 合金系列中，應控制合金的微觀組織為枝蔓狀組織，才能進行熱滾壓加工。而不論是何種組織均可進行熱鍛加工。晶粒狀結構之晶界為加工裂痕之起始點及行進路線；所以，在此系列的合金中，應該加大鑄造尺寸或者是降低冷卻速率，避免產生容易破裂的晶粒狀組織。

六、參考文獻

- [1] C. H. Tsau, J. S. C. Jang and J. W. Yeh, *Mater. Sci. Eng.*, A153(1992)264-268.
- [2] C. H. Tsau, J. S. C. Jang and J. W. Yeh, *Mater. Sci. Eng.*, A192/193(1995)204-210.
- [3] Chun-Huei Tsau, Jien-Wei Yeh, Jason Shian-Ching Jang and Hong-Jen Lai, *Mater. Chem. and Phys.*, 65(2000)136-143.
- [4] Chun-Huei Tsau and Jien-Wei Yeh, *Mater. Chem. and Phys.*, in press.
- [5] K. Ishida, R. Kainuma, N. Ueno and T. Nishizawa, *Metall. Trans. A*, 22A(1991)441.
- [6] C. H. Tsau, *Proceeding of THERMEC'2000, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials*, ed. T. Chandra, December 4-8, 2000, Las Vegas, U.S.A., in press.
- [7] 曹春暉、鄭憲清、葉均蔚、王正和，"A Study on the Rapidly Quenched Ni-25Al-xFe Ribbons"，中國材料科學學會 88 年年會，新竹縣，Disk 1。
- [8] 曹春暉，"A Study on the high-temperature mechanical properties of Ni-Al-Fe-X intermetallic alloys"，中國材料科學學會 89 年年會，高雄縣，論文印製中。