

多元高熵合金與 304 不銹鋼異種銲接研究

學生：潘聖富

指導教授：周長彬 教授

國立交通大學 機械工程研究所 碩士班

摘 要

高熵合金為顛覆傳統合金觀念所創造的新合金，強調用五個以上的主元素來製作合金，每個元素含量不超過 35 %，高亂度或高熵成為其異於傳統合金的基本特色，並具有許多學術及應用價值。此新合金可較傳統合金更耐蝕、更耐磨、更耐高溫、硬度高且不易氧化，其應用範圍甚廣：例如利用其高硬度之特性，可用作高爾夫球桿頭；利用其耐蝕性佳，可使用於化學工廠、船艦之高強度材料；利用其耐磨及耐溫性，可用於高溫之工具、模具及刀具等。

但無論高熵合金應用於何處，如何將其與同質材料之間，或與異質材料之間，達成高強度、高品質的接合加工，則為研究高熵合金於實際應用階段中之重要課題。本研究主要目標為探討銲接對高熵合金機械性質與顯微組織之影響，並研究其銲接性能，作為未來實務應用參考，期望擴展其應用範圍。

本研究中以 230 及 718 超合金銲條與高熵合金自製銲條對四種不同之高熵合金及 304 不銹鋼進行異種銲接研究，並探討其機械性質與顯微組織，進行一系列異種銲接研究分析。實驗方法包括銲接實驗、拉伸試驗、拉伸破斷型態 SEM 觀察、微硬度試驗、金相顯微組織觀察 (OM、SEM) 及成份分析 (EDS)。

實驗結果顯示，四種不同材質之高熵合金以相同成份之銲條與 AISI 304 不銹鋼異種銲接後，其銲件之機械性質優於以 230 及 718 超合金銲條銲接之銲件。高熵合金與相同成份之銲條銲接性能佳，其中 $\text{FeCoNi}_{0.5}\text{CrAl}_{0.5}$ 高熵合金 (HB 高熵合金) 以相同成份之高熵合金銲條進行與 AISI 304 不銹鋼異種銲接之銲件，其銲道強度優於 304 不銹鋼商用板材之強度。

The Study of Dissimilar Metal Welding of Multi-component High-entropy Alloys with Stainless Steel 304

Student : Sheng-Fu Pan

Advisor : Dr. Chang-Pin Chou

Institute of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The development of High-Entropy alloys has aroused considerable interest recently. Many investigations have been conducted on the microstructures, mechanical properties, corrosion resistance, heat treatment, thin film development, and phase identifications. These newly developed alloys have good corrosion and wear resistance, high-temperature mechanical properties, and specially physical and chemical properties with nanostructure.

This experimental research project aimed at the investigation of weldability testing and microstructure analysis of Gas Tungsten Arc Welding (GTAW or TIG) weldments of these high-entropy alloys. In this study, a new welding material was developed to make a decent dissimilar metal welding joint of this alloy with other stainless steels. Superalloys 230 and 718 were also used as the filler metal. A series experiments included micro-hardness measurements, tensile testing, SEM and EDS analysis were conducted in this investigation.

The experimental results have lead to the following conclusions :

- 1.The weldment with high-entropy filler metal has the best mechanical strength and ductility.
- 2.The tensile strength of dissimilar metal joint weldment of high-entropy alloy and stainless steel 304 is greater than that of stainless steel 304.
- 3.High-entropy alloy can be used as welding filler metal for the joining of same type high-entropy alloy.

誌 謝

在這攻讀碩士的兩年中，首先要感謝的是周長彬老師，由衷感謝老師在這兩年中的教導與關心，老師對待我很親切，做人處世的態度讓我很尊敬，總是笑口常開，教學時也十分認真負責，是一位很難得的好老師。

再來要感謝林國書學長，不管是論文實驗規劃、論文實驗的操作、實驗結果分析討論以及論文的撰寫上，給予許多的指導與幫助，學長對待我很親切，是一位很照顧學弟的好學長，真的由衷感謝學長的幫助與教導。



感謝論文計劃書口試委員朝春光教授及陳仁浩教授，對於論文計劃書內容的指正與實驗的建議。感謝論文口試委員李義剛、陳明祥以及曾光宏三位博士的指教，感謝他們對於論文的指正與評論，使論文能修正缺失。

最後感謝我的父母與家人的支持，讓我能順利取得碩士學位。

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
一、前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
二、文獻回顧.....	3
2.1 研究背景.....	3
2.2 高熵合金的定義.....	4
2.3 高熵合金的特點.....	5
2.4 高熵合金研究論文回顧.....	7
2.4.1 高熵合金性能研究.....	7
2.4.2 高熵合金銲接性質研究.....	11
2.5 銲接熔池凝固理論.....	12
2.5.1 熔池凝固特性介紹.....	12
2.5.2 熔池凝固的一般規律.....	14
2.5.3 熔池結晶的線速度.....	17
2.5.4 熔池結晶的形態.....	20
三、研究方法與步驟.....	24
3.1 實驗流程.....	24
3.2 實驗材料.....	25
3.2.1 銲接母材.....	25
3.2.2 填料金屬.....	26
3.3 實驗步驟.....	27
3.3.1 TIG 異種銲接.....	27
3.3.2 拉伸試驗.....	29
3.3.3 微硬度量測.....	30
3.3.4 金相顯微組織觀察.....	31
3.3.5 EDS 元素分析.....	32
四、結果與討論.....	34
4.1 HA 高熵合金異種銲接研究.....	34

4.1.1 HA 高熵合金鋁件拉伸試驗	34
4.1.2 HA 高熵合金鋁件拉伸破斷型態 SEM 分析	35
4.1.3 HA 高熵合金鋁件微硬度試驗	37
4.1.4 HA 高熵合金鋁件金相顯微組織	38
4.1.5 HA 高熵合金鋁件 SEM 與 EDS 成份分析	42
4.1.6 HA 高熵合金異種鋁接綜合討論	45
4.2 HB 高熵合金異種鋁接研究	46
4.2.1 HB 高熵合金鋁件拉伸試驗	46
4.2.2 HB 高熵合金鋁件拉伸破斷型態 SEM 分析	47
4.2.3 HB 高熵合金鋁件微硬度試驗	49
4.2.4 HB 高熵合金鋁件金相顯微組織	50
4.2.5 HB 高熵合金鋁件 SEM 與 EDS 成份分析	54
4.2.6 HB 高熵合金異種鋁接綜合討論	57
4.3 HC 高熵合金異種鋁接研究	58
4.3.1 HC 高熵合金鋁件拉伸試驗	58
4.3.2 HC 高熵合金鋁件拉伸破斷型態 SEM 分析	59
4.3.3 HC 高熵合金鋁件微硬度試驗	61
4.3.4 HC 高熵合金鋁件金相顯微組織	62
4.3.5 HC 高熵合金鋁件 SEM 與 EDS 成份分析	66
4.3.6 HC 高熵合金異種鋁接綜合討論	69
4.4 HD 高熵合金異種鋁接研究	70
4.4.1 HD 高熵合金鋁件拉伸試驗	70
4.4.2 HD 高熵合金鋁件拉伸破斷型態 SEM 分析	70
4.4.3 HD 高熵合金鋁件微硬度試驗	73
4.4.4 HD 高熵合金鋁件金相顯微組織	74
4.4.5 HD 高熵合金鋁件 SEM 與 EDS 成份分析	78
4.4.6 HD 高熵合金異種鋁接綜合討論	81
五、結論	82
參考文獻	83

表 目 錄

表 3-1	高熵合金鑄件編號及組成成份	25
表 3-2	AISI 304 不銹鋼之化學成份	25
表 3-3	填料金屬化學成份表	26
表 3-4	高熵合金異種銲接參數表	28
表 3-5	金相組織觀察位置說明	32
表 4-1	HA 高熵合金拉伸機械性質與破斷位置表	34
表 4-2	HA 高熵合金母材 EDS 成份分析表	43
表 4-3	HA-HA 銲件之銲道 EDS 成份分析表	44
表 4-4	HB 高熵合金拉伸機械性質與破斷位置表	46
表 4-5	HB 高熵合金母材 EDS 成份分析表	55
表 4-6	HB-HB 銲件之銲道 EDS 成份分析表	56
表 4-7	HC 高熵合金拉伸機械性質與破斷位置表	58
表 4-8	HC 高熵合金母材 EDS 成份分析表	67
表 4-9	HC-HC 銲件之銲道 EDS 成份分析表	68
表 4-10	HD 高熵合金拉伸機械性質與破斷位置表	70
表 4-11	HD 高熵合金母材 EDS 成份分析表	79
表 4-12	HD-HD 銲件之銲道 EDS 成份分析表	80

圖目錄

圖 2-1	不同 Al 含量合金之硬度值	9
圖 2-2	不同 Al 含量高熵合金之降伏強度(低應變速率)	10
圖 2-3	不同 Al 含量高熵合金之降伏強度(高應變速率)	10
圖 2-4	鐳道熔線區母材晶粒上成長的柱狀晶	15
圖 2-5	不銹鋼潛弧鐳時之交互結晶	15
圖 2-6	鐳道中柱狀晶的選擇成長	17
圖 2-7	晶粒的彎曲主軸形成圖	18
圖 2-8	晶粒成長線速度分析圖	18
圖 2-9	鐳接速度對晶粒成長的影響	20
圖 2-10	熔池凝固時控制晶粒成長形態的因素	21
圖 2-11	結晶形態	21
圖 2-12	鐳道結晶形態的變化	23
圖 3-1	實驗流程圖	24
圖 3-2	鐳接母材尺寸示意	28
圖 3-3	ASTM-E8 規範拉伸試驗試片尺寸	29
圖 3-4	拉伸試片取樣示意圖	30
圖 3-5	微硬度量測試驗機	31
圖 3-6	微硬度試驗量測試示意圖	31
圖 3-7	金相組織觀察位置示意圖	32
圖 4-1	230-HA 鐳件拉伸破斷型態 SEM 照片	36
圖 4-2	718-HA 鐳件拉伸破斷型態 SEM 照片	36
圖 4-3	HA-HA 鐳件拉伸破斷型態 SEM 照片	36
圖 4-4	HA 異種鐳件硬度值變化圖	38
圖 4-5	230-HA 鐳件金相圖	39
圖 4-6	718-HA 鐳件金相圖	40
圖 4-7	HA-HA 鐳件金相圖	41
圖 4-8	HA 高熵合金母材 SEM 照片	43
圖 4-9	HA-HA 鐳件之鐳道 SEM 照片	44
圖 4-10	230-HB 鐳件拉伸破斷型態 SEM 照片	48
圖 4-11	718-HB 鐳件拉伸破斷型態 SEM 照片	48
圖 4-12	HB-HB 鐳件拉伸破斷型態 SEM 照片	48
圖 4-13	HB 異種鐳件硬度值變化圖	50
圖 4-14	230-HB 鐳件金相圖	51
圖 4-15	718-HB 鐳件金相圖	52

圖 4-16	HB-HB 鋁件金相圖	53
圖 4-17	HB 高熵合金母材 SEM 照片	55
圖 4-18	HB-HB 鋁件之鋁道 SEM 照片	56
圖 4-19	230-HC 鋁件拉伸破斷型態 SEM 照片	60
圖 4-20	718-HC 鋁件拉伸破斷型態 SEM 照片	60
圖 4-21	HC-HC 鋁件拉伸破斷型態 SEM 照片	60
圖 4-22	HC 異種鋁件硬度值變化圖	61
圖 4-23	230-HC 鋁件金相圖	63
圖 4-24	718-HC 鋁件金相圖	64
圖 4-25	HC-HC 鋁件金相圖	65
圖 4-26	HC 高熵合金母材 SEM 照片	67
圖 4-27	HC-HC 鋁件之鋁道 SEM 照片	68
圖 4-28	230-HD 鋁件拉伸破斷型態 SEM 照片	72
圖 4-29	718-HD 鋁件拉伸破斷型態 SEM 照片	72
圖 4-30	HD-HD 鋁件拉伸破斷型態 SEM 照片	72
圖 4-31	HD 異種鋁件硬度值變化圖	73
圖 4-32	230-HD 鋁件金相圖	75
圖 4-33	718-HD 鋁件金相圖	76
圖 4-34	HD-HD 鋁件金相圖	77
圖 4-35	HD 高熵合金母材 SEM 照片	79
圖 4-36	HD-HD 鋁件之鋁道 SEM 照片	80