

第四章 實驗結果與討論

4.1 最佳銲接參數之決定

4.1.1 田口實驗分析

以 MIG 進行銲接工作時，電壓、電流、銲槍走速及工件之間隙…等相關操作條件之互相配合，對於銲接工作之品質影響甚巨；傳統上相關操作條件之設定均依賴有經驗之操作者進行初步設定，再經反覆試驗操作以確認銲接結果符合預期，此種作業方式不但耗時費力又增加生產成本外，對於各項操作條件對於銲接品質之影響更無從得知。故本次實驗之 MIG 銲接操作條件將採”田口實驗方法”來進行，以減少實驗次數並探究各操作條件對銲接工作之影響性。



4.1.2 初期參數設定

經參考相關研究[43]及銲線廠商提供之參考資料，決定本次田口實驗之控制因子為銲接電流、銲接電壓、銲槍走行速度及銲件對接間隙值等四個銲接參數。表 4-1 為本次實驗要因分析表。

表 4-1 實驗計劃要因配置表

因子	水準 1	水準 2	水準 3
A 銲接電壓	18.9	20.2	21.4
B 銲接電流	200	210	220
C 銲槍走行速度	403	454	500
D 對接間距	0	0.5	1

表 4-1 共有 4 個參數，每個參數分別為 3 個水準，採用實驗規劃法以 L9 直交表來進行實驗，每組實驗之參數設定如表 4-2 所示。



表 4-2 田口實驗之參數設定

實驗編號	A 銲接電壓 (V)	B 銲接電流 (A)	C 銲槍走行速度 (mm/min)	D 對接間距 (mm)
1	18.9	200	403	0
2	18.9	210	454	0.5
3	18.9	220	500	1
4	20.2	200	454	1
5	20.2	210	500	0
6	20.2	220	403	0.5
7	21.4	200	500	0.5
8	21.4	210	403	1
9	21.4	220	454	0

除上表所列之控制因子外，其它相關參數有：

1. 固定保護氣體 Ar，流量 15 l/min。
2. 固定銲線伸出長度=15mm。
3. 使用線徑 $\phi 1.6\text{mm}$ GM308 裸線。

4.1.3 田口實驗結果

由表 4-3 及表 4-4 可以觀察出銲接參數對於銲道外觀及深度及寬度之影響；

表 4-3 田口試驗結果

實驗 編號	實驗結果			
	鐳道熔 透深度	鐳道 寬度	鐳道 冠高	鐳道深/寬比值
1	1.40	8.61	2.50	0.16
2	2.57	6.65	2.52	0.39
3	4.52	7.54	2.13	0.60
4	2.70	8.70	2.24	0.31
5	1.45	9.48	2.31	0.15
6	2.60	10.91	2.64	0.24
7	1.80	8.68	1.67	0.21
8	2.62	11.60	2.01	0.23
9	2.12	10.91	1.89	0.19

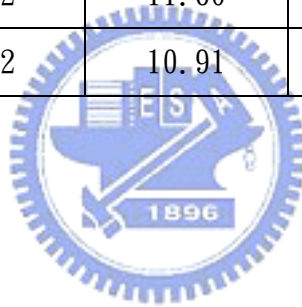


表 4-4 田口試驗銲道外觀及深寬比



















實驗編號	正視圖	銲道剖面
1		
2		
3		
4		
5		
6		

表 4-4 田口試驗銲道外觀及深寬比(續)

7		
8		
9		

將表 4-3 的實驗結果以銲道之熔透深度為響應值，並運用田口品質工程之望大特性來計算其 S/N 比值，如表 4-5.1 及 4-5.2 所示

表 4-5.1 銲接參數與 S/N 值

實驗 編號	因子 銲接 電壓 (V)	銲接 電流 (A)	銲槍 走行 速度 (mm /min)	對接 間距 (mm)	銲道熔透(mm)				η 望大 特性
					Test(1)	Test(2)	Test(3)	Test(4)	
1	18.9	200	403	0	1.311	1.297	1.101	1.897	2.443
2	18.9	210	454	0.5	3.052	2.238	2.572	2.412	8.027
3	18.9	220	500	1	4.222	4.585	4.598	4.660	13.076
4	20.2	200	454	1	2.747	3.058	2.769	2.241	8.471
5	20.2	210	500	0	1.508	1.155	1.748	1.369	2.904
6	20.2	220	403	0.5	2.388	2.663	2.261	3.101	8.125
7	21.4	200	500	0.5	1.573	1.709	2.015	1.910	4.992
8	21.4	210	403	1	2.384	2.098	2.921	3.069	8.051
9	21.4	220	454	0	2.326	1.552	1.894	2.723	5.963

表 4-5.2 深寬比輔助表

	A	B	C	D
1	23.546	15.906	18.619	11.311
2	19.500	18.983	22.461	21.145
3	19.007	27.165	20.972	29.598
ΔP	4.538	11.259	3.842	18.287
影響度排名	3	2	4	1
最佳參數	A-水準 1	B-水準 3	C-水準 2	D-水準 3

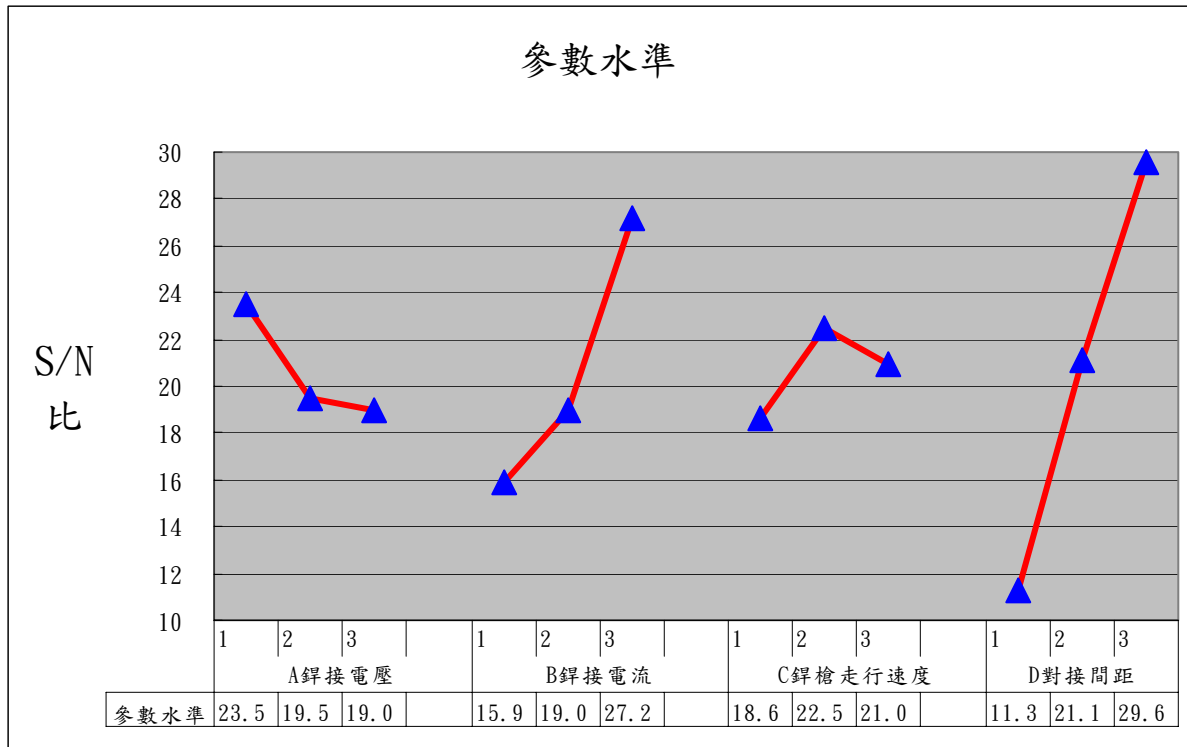


圖 4-1 參數水準圖

由表 4-5 及圖 4-1 可得知，當參數設定為 $A_1B_3C_2D_3$ 時，可以得到最佳之熔透深度，但若欲得知各參數對銲道熔透深度之影響，則必須更進一步對 S/N 值進行變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)，如表 4-6.1 所示

表 4-6.1 變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)

要因	f 自由度	SS 平方和	V 均方	SS' 淨平方和	ρ %貢獻率
A	2	4.134	2.067	4.134	4.86%
B	2	22.575	11.287	22.575	26.54%
C	2	2.501	1.251	2.501	2.94%
D	2	55.843	27.921	55.843	65.66%
Te(總和)	8	85.053	10.632	85.053	100%

由表 4-6.1 中發現，影響鉚道熔透深度之最大之因子為鉚接間隙，其影響度佔約 65%，其次為鉚接電流佔整體影響性之 27%，鉚槍走速及鉚接電壓之影響小於 10%；雖然鉚槍走速及鉚接電壓對鉚道的熔透深影響有限，但仍為鉚接時重要之參數，如果無法與其他參數達成良好之配合，則會形成如 #5 試片鉚道扭曲不連續、外觀不佳之情況或導致其他鉚接缺陷之形成，故於操作時不可不慎。

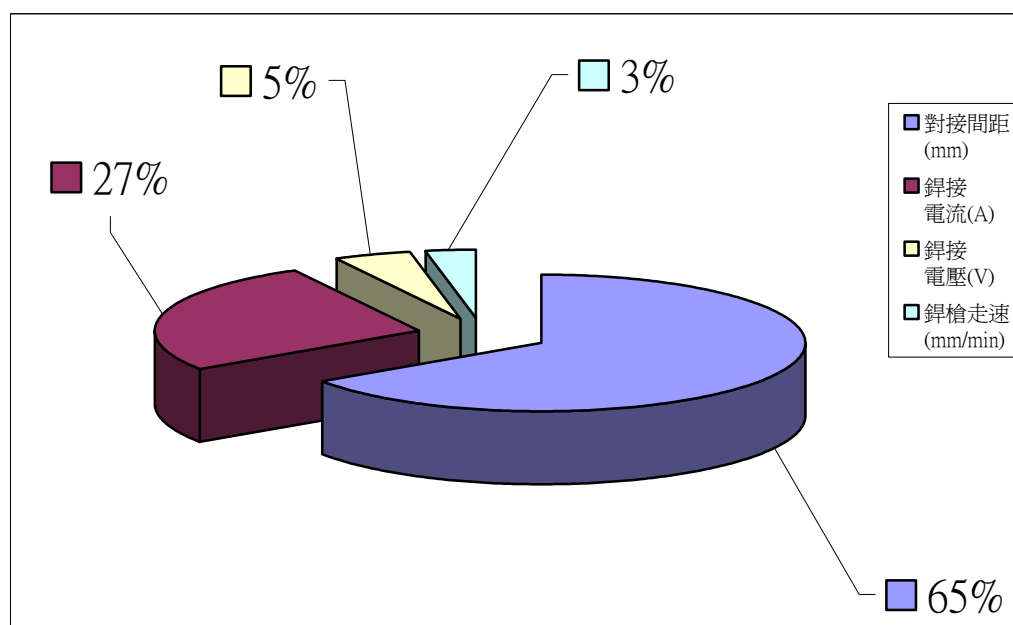


圖 4-2 各參數對鉚道熔透深度的影響度

4.1.4 最佳化條件確認

為確保所得之操作條件為最適當之設定水準，必須進行驗證方可確保；由上文中已知當參數設定為 $A_1B_3C_2D_3$ 時，可以得到最佳之熔透深度，其

中銲接電壓與銲槍走速對熔透深度的影響不大，故將之列入誤差項予以忽略不記，修訂後之 ANOVA 表 4-6.2：

表 4-6.2 變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)

要因	f 自由度	SS 平方和	V 均方	SS' 淨平方和	ρ %貢獻率
A	2	4.134	---	---	---
B	2	22.575	11.287	19.257	22.64%
C	2	2.501	---	---	---
D	2	55.843	27.921	52.525	61.76%
e(誤差)	4	6.635	1.659	6.635	15.60%
Te(總和)	8	85.053	10.632	71.782	100%

註：銲接電壓與銲槍走速對熔透深度的影響不大，故將之列入誤差項予以忽略不記

由表 4-5.1 計算 η 平均值為 6.895，再由表 4-5.2 計算預估之 S/N 比值為：

$$S/N(\text{預估}) = \eta \text{ 平均值} + (B_3 \text{ 平均值} - \eta \text{ 平均值}) + (D_3 \text{ 平均值} - \eta \text{ 平均值}) = 10.820$$

由表 4-6.2 中計算，若在 95% 之信心水準下，進行三次再現實驗則推論其誤差為 2.920，亦即依最佳參數進行在現實驗所得之 S/N 值應為 10.820±2.920。

經參數設定為 $A_1B_3C_2D_3$ 的條件下進行三次再現實驗，所得之熔透深度分別為 4.413、4.760、4.578mm，經計算得其 S/N 值為 13.212，符合預期之範圍，故知所設定的操作條件為正確之結果。

4.2 活性助銲劑對銲道深寬比之影響

以深度來說，由表 4-7 中可得知添加活性助銲劑所得到的深度比沒有添加活性助銲劑要深的銲藥有 MgO 、 MnO_2 、 CaF_2 、 CaCO_3 、 CaO 、 ZnO 。其中效果最好的銲藥是 MgO ，有些銲藥所得到的深度比沒有添加活性助銲劑要差的有 Fe_2O_3 、 K_2CO_3 、 Cr_2O_3 、 TiO_2 、 NaF 、 SiO_2 、 Al_2O_3 及包藥銲線，其中以包藥銲線的效果最差，其熔透深度僅有 GM308 銲線不添加任何 Flux 時的 50%。

以寬度來說越窄越好，相對地熱影響區愈小，較不會破壞材料機械性質，由表 4-7 得知添加活性助銲劑所得到的寬度比沒有添加活性助銲劑要窄的銲藥有 MgO 、 MnO_2 、 CaF_2 、 CaCO_3 、 CaO 、 ZnO 、 Fe_2O_3 、 K_2CO_3 、 Cr_2O_3 、 NaF 、 Al_2O_3 及包藥銲線。其中效果最好的銲藥是 MnO_2 ，銲道寬度較不加銲藥時約縮減 40%。只有 SiO_2 、 TiO_2 所得到的寬度是比沒有添加活性助銲劑要寬的。

以銲道深寬比來說越高越好。所以由表 4-7 得知添加活性助銲劑得到的深寬比比沒有添加活性助銲劑要高的銲藥有 MgO 、 MnO_2 、 CaF_2 、 CaCO_3 、 CaO 、 ZnO 、 Fe_2O_3 、 K_2CO_3 、 Cr_2O_3 。其中效果最好的銲藥是 MnO_2 ，效果較差的銲藥為 NaF 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 TiO_2 與及 Flux core。整體來說，不論在銲道寬度、熔透深度以及深寬比方面均以包藥銲線的效果最差，若以銲藥而言則以 SiO_2 的效果最差。

表 4-7 活性助鋅劑與鋅道深寬比之關係

鋅藥 種類	鋅道熔 透深度 mm D	鋅道 寬度 mm W	鋅道深/寬比值 D/W	效果
MnO ₂	5.35	5.12	1.04	193%
CaF ₂	5.27	5.38	0.98	181%
CaCO ₃	5.28	6.22	0.85	157%
MgO	5.72	7.56	0.76	140%
CaO	4.92	6.59	0.75	138%
ZnO	4.73	7.78	0.61	112%
Fe ₂ O ₃	4.46	7.44	0.60	111%
K ₂ CO ₃	4.37	8.00	0.55	101%
Cr ₂ O ₃	3.99	7.30	0.55	101%
No Flux	4.58	8.47	0.54	100%
NaF	3.89	7.94	0.49	91%
TiO ₂	3.94	9.31	0.42	78%
Al ₂ O ₃	3.26	8.43	0.39	72%
SiO ₂	3.82	10.08	0.38	70%
Flux core	2.28	8.44	0.27	50%

4.3 活性助銲劑添加對銲道形態之影響

圖4-3為單一成分之活性助銲劑對不銹鋼銲道形態之實驗結果。結果顯示在同一銲接製程參數條件下， MgO 、 MnO_2 、 CaF_2 、 $CaCO_3$ 、 CaO 、 ZnO 、 Fe_2O_3 等活性助銲劑有助於提升銲道的深寬比，可以得到窄而深的銲道截面形狀。其中又以 MnO_2 活性助銲劑的添加對不銹鋼銲道成形的作用效果最為顯著(可達到完全熔透的最佳銲道穿深效果)。但若添加 K_2CO_3 、 Cr_2O_3 活性助銲劑效果則不明顯。反之，若添加了 NaF 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 TiO_2 與及 Flux core 則將會使銲道的深寬比下降，其中以 Flux core 的衰減最為明顯，僅有原有之 50%。

值得一提的是，添加 CaF_2 之助銲劑，雖可提高熔透深度，但於銲道內卻產生嚴重的氣孔現象，而且銲道產生些微的銲蝕(undercut)情況，因此 CaF_2 並不是一個最佳的助銲劑。


銲藥種類	銲道熔透深度 D	銲道寬度 W	銲道剖面
MnO_2	5.35	5.12	

圖 4-3 活性助銲劑對不銹鋼銲道形態之影響









CaF_2	5.27	5.38	
CaCO_3	5.28	6.22	
MgO	5.72	7.56	
CaO	4.92	6.59	
ZnO	4.73	7.78	
Fe_2O_3	4.46	7.44	
K_2CO_3	4.37	8.00	
Cr_2O_3	3.99	7.30	

圖 4-3 活性助銲劑對不銹鋼銲道形態之影響(續)




No Flux	4.58	8.47	
NaF	3.89	7.94	
TiO ₂	3.94	9.31	
Al ₂ O ₃	3.26	8.43	
SiO ₂	3.82	10.08	
Flux core	2.28	8.44	

圖 4-3 活性助鐸劑對不銹鋼鐸道形態之影響(續)

4.4 活性助銲劑對銲道之外觀及熔融面積之影響

如圖4-4所示為單一成分之活性助銲劑對不銹鋼銲道外觀之影響。從圖中可觀察出，塗敷 MnO_2 、 Cr_2O_3 、 ZnO 、 MnO_2 、 $CaCO_3$ 與 K_2CO_3 活性助銲劑會在銲道附近將會產生比較多的飛濺物(splatter)。塗敷 Al_2O_3 與 MgO 活性助銲劑則會在銲道附近雖會產生少許的飛濺物，但可得到較平整的銲道外觀。由此實驗結果可得知， SiO_2 與 MgO 活性助銲劑的添加可得到較佳的不銹鋼MIG銲道外觀。

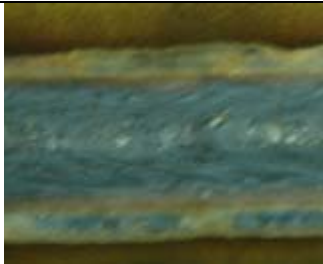
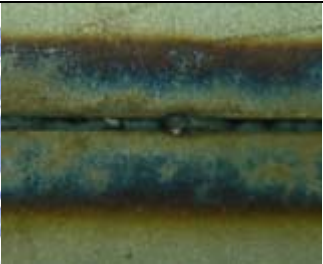

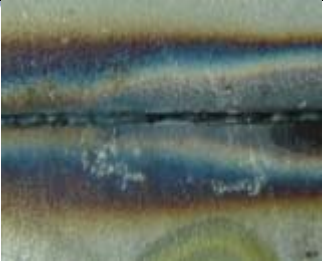

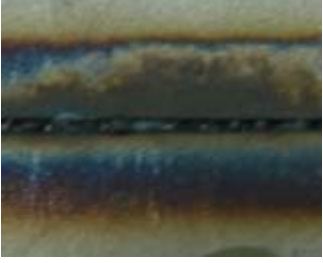
試片編號	銲藥種類	正面照片	背面照片	特性描述
1	No Flux			銲道寬度：普通 銲冠高：一般 銲道外觀：一致、美觀 噴渣：很少
2	SiO_2			銲道寬度：普通 銲冠高：一般 銲道外觀：良好 噴渣：少量
3	Cr_2O_3			銲道寬度：窄 銲冠高：普通 銲道外觀：均勻美觀 噴渣：稍多

圖 4-4 活性助銲劑對不銹鋼銲道外觀之影響


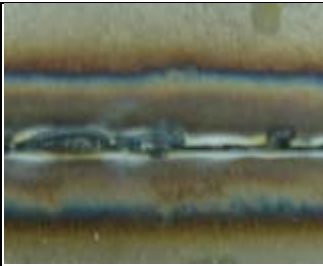
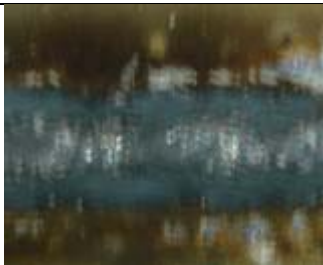
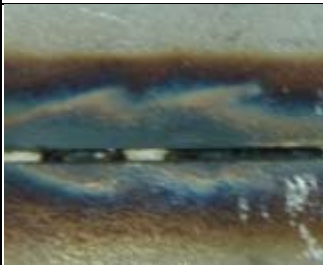

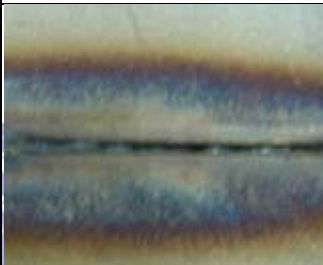

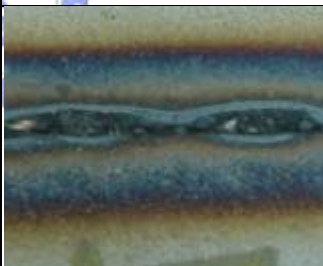

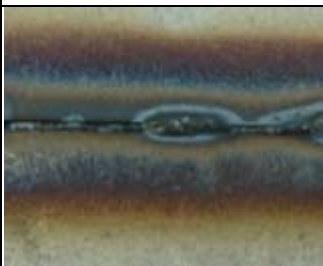
4	ZnO			鐳道寬度：窄 鐳冠高：集中 鐳道外觀：不均 勻 噴渣：多
5	TiO ₂			鐳道寬度：前窄 後寬 鐳冠高：前高後 矮 鐳道外觀：不均 勻 噴渣：少量
6	MgO			鐳道寬度：窄 鐳冠高：普通 鐳道外觀：均勻 美觀 噴渣：很少
7	MnO ₂			鐳道寬度：很窄 鐳冠高：前高後 低 鐳道外觀：均勻 美觀 噴渣：量多
8	CaCO ₃			鐳道寬度：窄 鐳冠高：略高 鐳道外觀：普通 噴渣：多

圖 4-4 活性助鐳劑對不銹鋼鐳道外觀之影響(續)


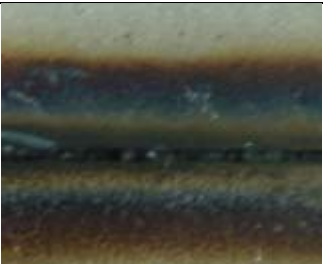

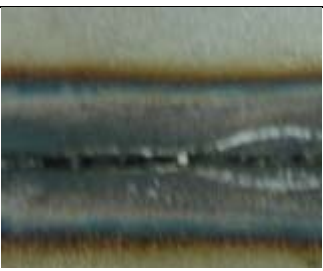

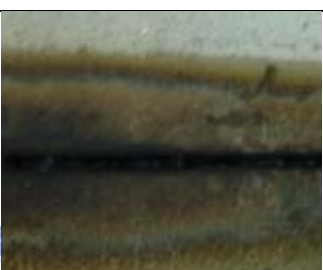



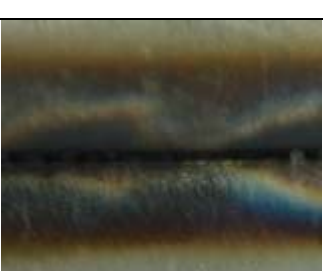
9	Fe_2O_3			鐳道寬度：窄 鐳冠高：普通 鐳道外觀：普通 噴渣：普通
10	CaO			鐳道寬度：窄 鐳冠高：稍高 鐳道外觀：不勻稱 噴渣：少量
11	NaF			鐳道寬度：前窄後寬 鐳冠高：普通 鐳道外觀：不佳 噴渣：不明顯
12	K_2CO_3			鐳道寬度：略窄 鐳冠高：稍高 鐳道外觀：不均勻 噴渣：多
13	Al_2O_3			鐳道寬度：稍窄 鐳冠高：普通 鐳道外觀：均勻美觀 噴渣：少量

圖 4-4 活性助鐳劑對不銹鋼鐳道外觀之影響(續)


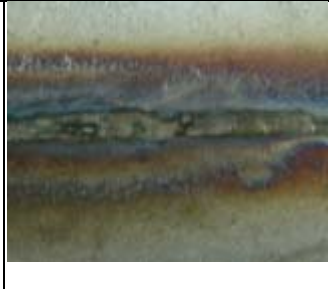
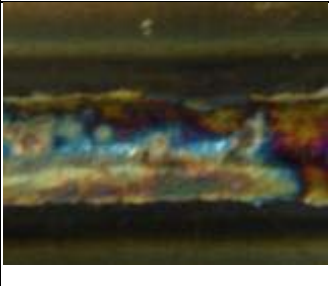
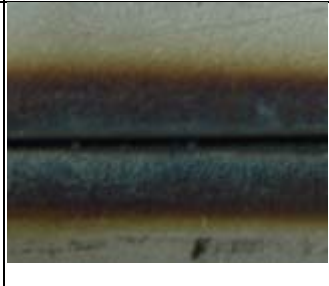
14	CaF ₂			鐳道寬度：很窄 鐳冠高：前高後低 鐳道外觀：不勻稱 噴渣：少
15	Flux core			鐳道寬度：普通 鐳冠高：較平坦 鐳道外觀：美觀、平順 噴渣：少

圖 4-4 活性助鐳劑對不銹鋼鐳道外觀之影響(續)

鐳道熔融面積與熱輸入量有明顯之關係，熱輸入量愈高，鐳道熔融面積隨之上升；本研究中發現，在 MIG-Flux 鐳接中，添加活性助鐳劑對於熔融面積雖然有所提升，但以鐳道之深寬比進行交叉分析，發現熔融面積與鐳道深寬比並無一定之關係存在，亦即表示輸入熱量的提升並無法完全反應至鐳道的深寬比上，仍須視鐳池內之浮力、電磁力及微量合金…等因素之作用而定。

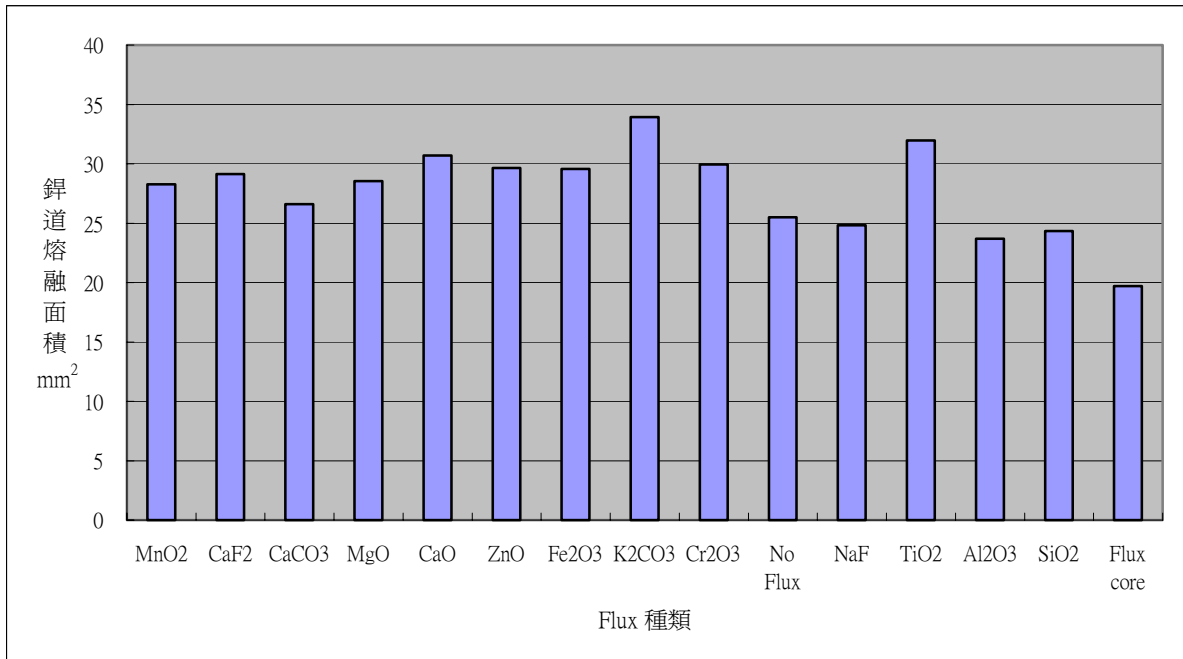


圖 4-5 活性助銲劑對不銹鋼銲道熔融面積之影響



銲藥種類	熔融面積 (mm ²)	銲道深/寬比值 D/W	銲道剖面
MnO ₂	28.27	1.04	
CaF ₂	29.13	0.98	

圖 4-6 活性助銲劑對銲道熔融面積與深寬比之比較



CaCO_3	26.59	0.85	
MgO	28.54	0.76	
CaO	30.69	0.75	
ZnO	29.65	0.61	
Fe_2O_3	29.57	0.60	
K_2CO_3	33.93	0.55	
Cr_2O_3	29.96	0.55	
No Flux	25.49	0.54	
NaF	24.84	0.49	

圖 4-6 活性助錒劑對錒道熔融面積與深寬比之比較(續)





TiO_2	31.97	0.42	
Al_2O_3	23.71	0.39	
SiO_2	24.35	0.38	
Flux core	19.70	0.27	

圖 4-6 活性助銲劑對銲道熔融面積與深寬比之比較(續)



4.5 活性助鋅劑對電弧型態之影響

關於活性助鋅劑對鋅道成形之影響行為與作用機制，在此可藉由鋅池表面張力梯度改變與電漿電弧柱收縮兩現象來加以探討與分析：

A. 鋅池表面張力梯度改變

根據Heiple等人[41-42]的研究結果顯示，鋅道熔透深度與熔融液態金屬之流動狀態有著極密切的關係。其中熔融液態金屬的流動方向主要是受到鋅池表面張力梯度之影響。至於鋅池表面張力梯度效應主要則取決於鋅池表面張力之溫度係數($d\gamma/dT$)，其中鋅池表面張力之溫度係數的正負值係取決於有無添加活化元素。在純金屬或鋅池中不存在活化元素時，鋅池表面張力一般隨溫度的升高而減小(亦即鋅池表面張力之溫度係數為負值)，因此熔融液態金屬將會形成由鋅池中央向鋅池外緣流動的表面張力流(outward flow)，進而形成寬而淺的鋅道截面形狀(如圖4-7所示)。然而，當鋅池中存在有活化元素時，鋅池表面張力則會隨溫度的升高而增加(亦即鋅池表面張力之溫度係數為正值)，因此熔融液態金屬將會形成由鋅池外緣向鋅池中央流動的表面張力流(inward flow)，進而形成窄而深的鋅道截面形狀(如圖4-4所示)。

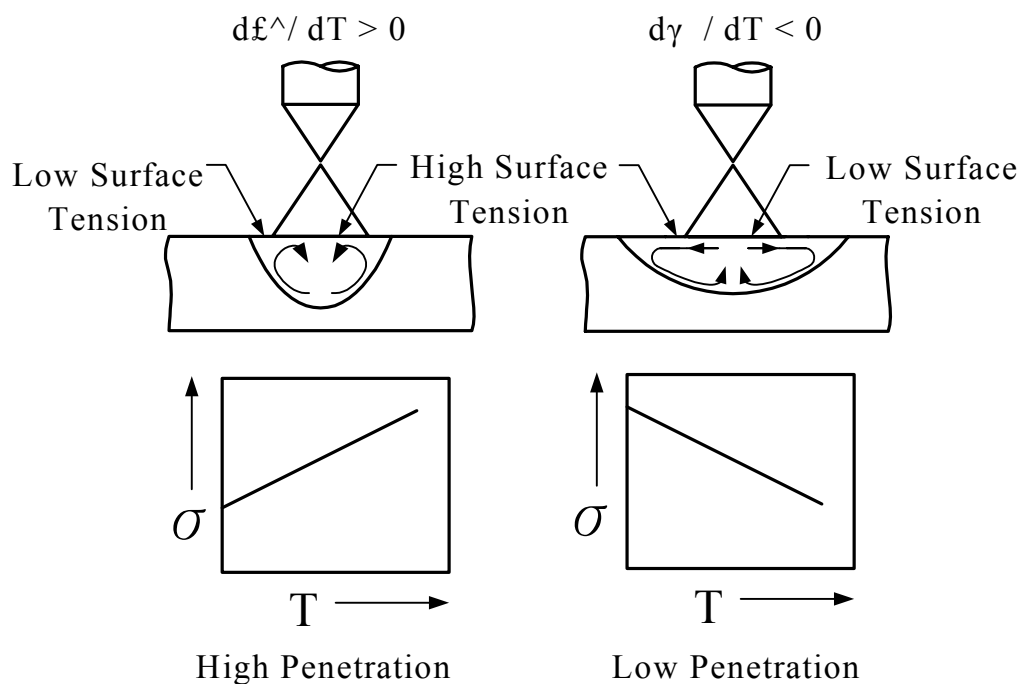


圖4-7 銲道熔深與熔融液態金屬流動之關係圖



B. 電漿電弧柱收縮

在MIG-Flux銲接過程中，可明顯發現電漿電弧柱會產生收縮現象，而此電漿電弧柱收縮現象將可有效集中電弧熱量，進而使銲道熔透深度增加。如圖4-8所示，由於電漿電弧中心區域的溫度要遠高於分子解離溫度，因此活性助銲劑在電漿電弧的高溫作用下，活性助銲劑中的原子將會被電離成電子與正離子。而在相對溫度較低的電漿電弧柱外圍區域，活性助銲劑中被蒸發的物質仍會以分子或解離原子的形態存在，且解離原子將會大量地吸附電漿電弧柱周邊區域中的電子而形成負離子，使得電漿電弧柱周邊區域中作為主要導電物質的電子數急劇減少，亦即會降低電漿電弧柱之導電能力或縮小電漿電弧柱之導電面積，進而迫使電漿電弧柱產生收縮現象。

至於此現象將可有效集中電弧熱量，進而使鐸道熔透深度增加。

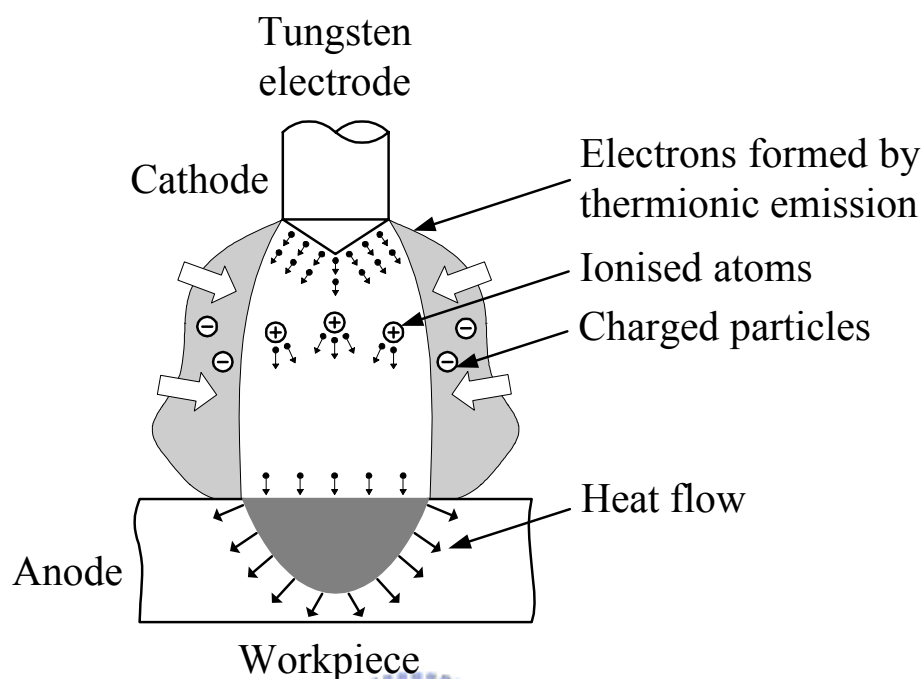


圖4-8 電漿電弧柱收縮示意圖

由圖 4-9 中發現，添加 MnO_2 、 CaF_2 、 $CaCO_3$ 及 CaO 活性助和劑時，鐸接電弧有明顯收縮集中之現象，其中 MnO_2 、 CaF_2 、 $CaCO_3$ 對於熔透深度亦有相當助益；另外 MgO 活性助和劑在電弧的收縮雖不明顯，但其熔透深度仍較未添加任何活性助鐸劑時優良。值得特別注意的是包藥鐸線在電弧收縮及熔透深度的表現雖差，但其鐸接電弧的穩定性卻是本次實驗中表現最佳，鐸道外觀均勻美麗、噴濺極少，而且鐸渣之清除極為容易，這也正是為何包藥鐸線的熔透深度較裸線差，但卻仍在產業中佔有一席之地之原因。











銲藥 種類	電弧狀態	
No Flux		
SiO_2		
Cr_2O_3		
ZnO		
TiO_2		

圖4-9 活性助銲劑對電弧柱之影響

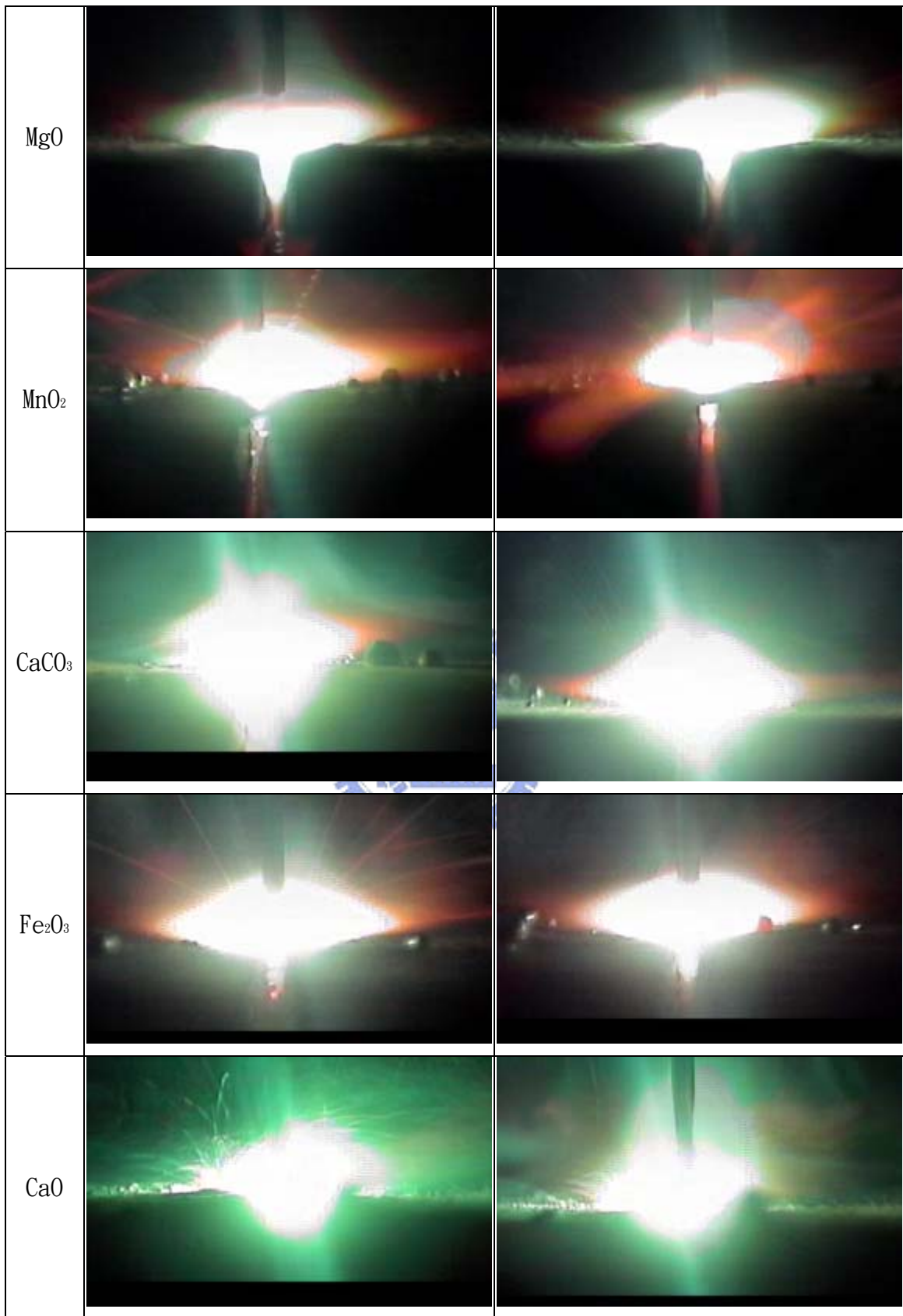


圖4-9 活性助銲劑對電弧柱之影響(續)

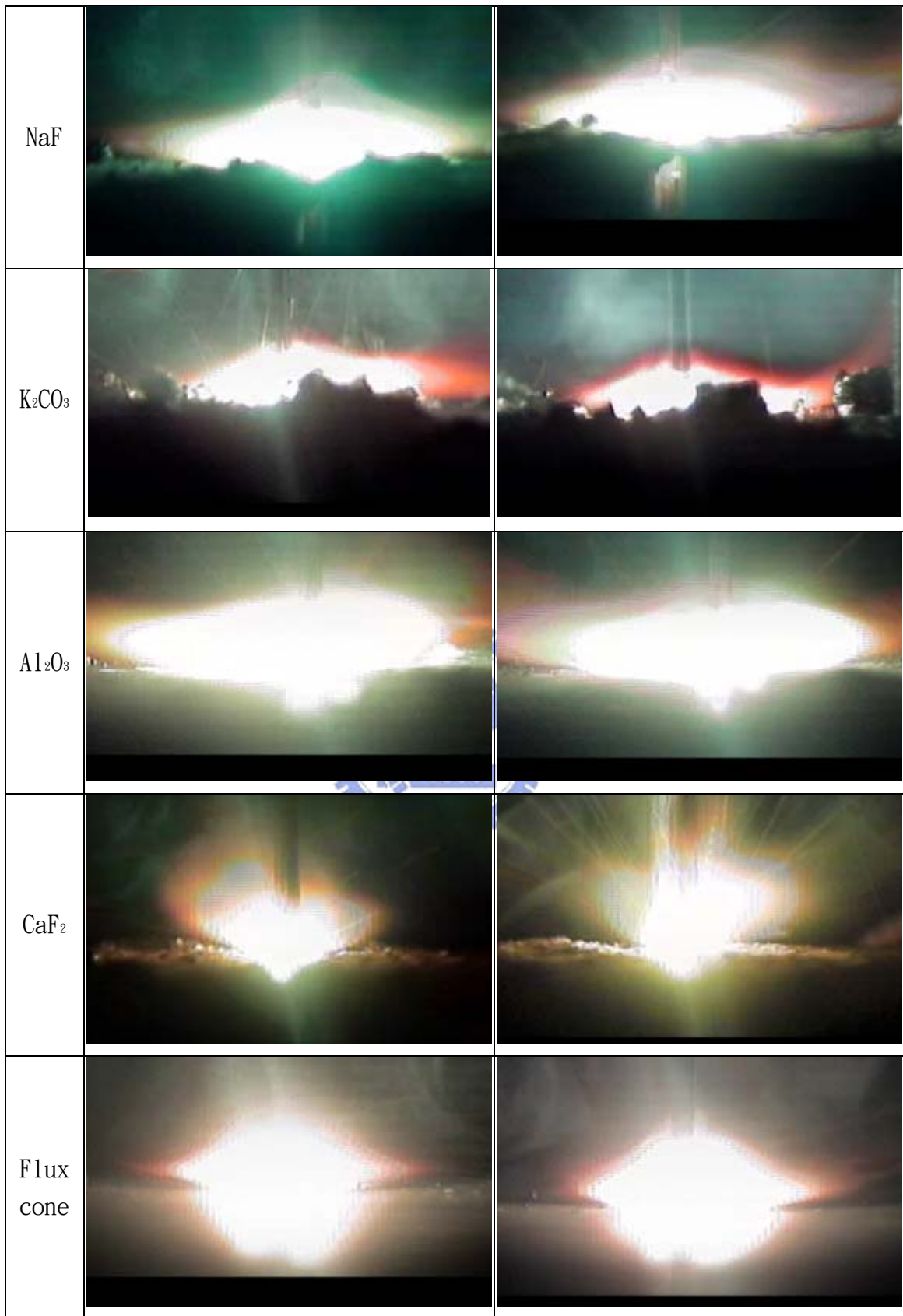


圖 4-9 活性助銲劑對電弧柱之影響(續)

4.6 活性助銲劑對銲道肥粒鐵含量之影響

沃斯田鐵不銹鋼在室溫下的微觀組織，理論上應為完全沃斯田鐵相組織。事實上絕大部份的沃斯田鐵不銹鋼銲接金屬在銲後皆會殘留有或多或少的肥粒相組織。由圖發現添加活性助銲劑都比未添加助銲劑時肥粒相含量來的低，其中以包藥銲線的差異最大。

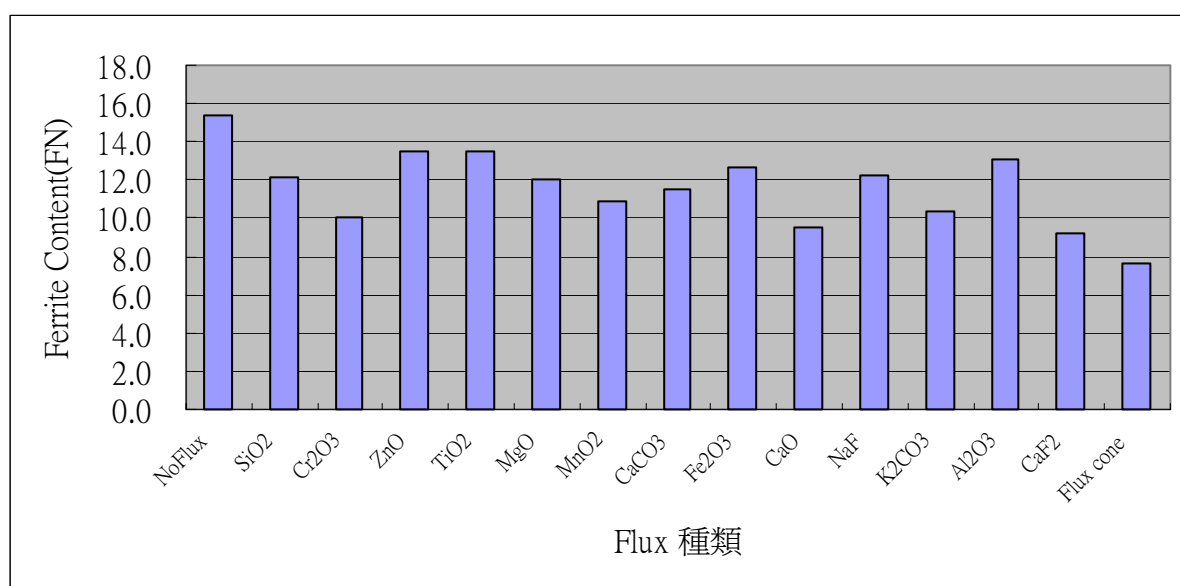


圖 4-10 活性助銲劑對銲道肥粒鐵含量之影響

雖然銲道中肥粒相的存在(5~10%)有助於降低銲接熱裂的敏感性，但由於肥粒相組織的耐腐蝕性不如沃斯田鐵相優良，當銲件處於腐蝕性強的酸性工作環境時，容易造成孔蝕(pitting)的現象，同時肥粒相的存在也會對不銹鋼的韌性及延展性有不良的影響。在本實驗中發現添加 CaF₂、CaO、Cr₂O₃ 與包藥銲線可降低銲道中肥粒相的含量至理想的範圍內(5~10%)，使銲件降低熱裂的敏感性又不致大幅影響其抗腐蝕及韌性。

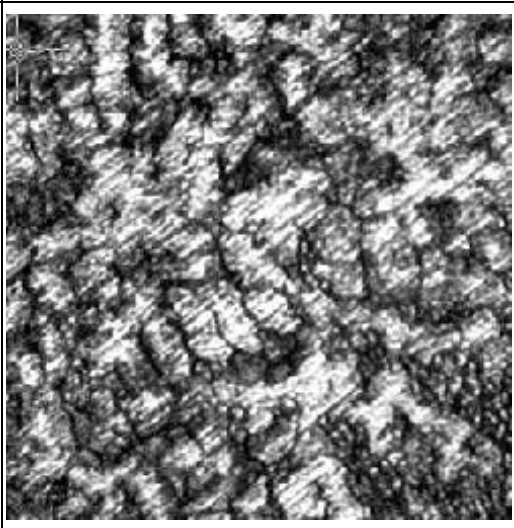
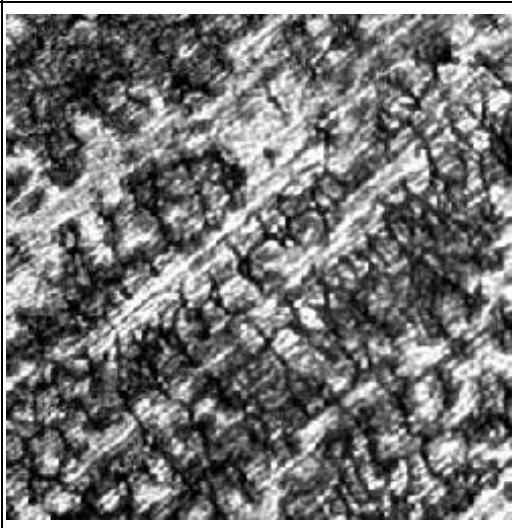
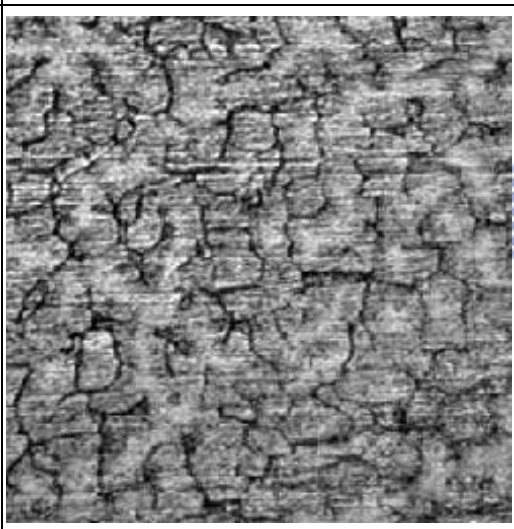
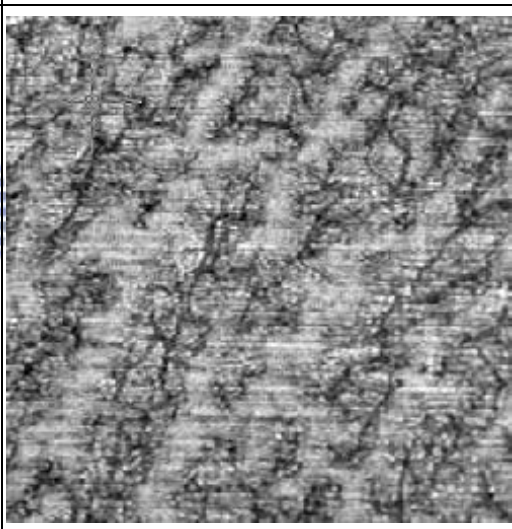
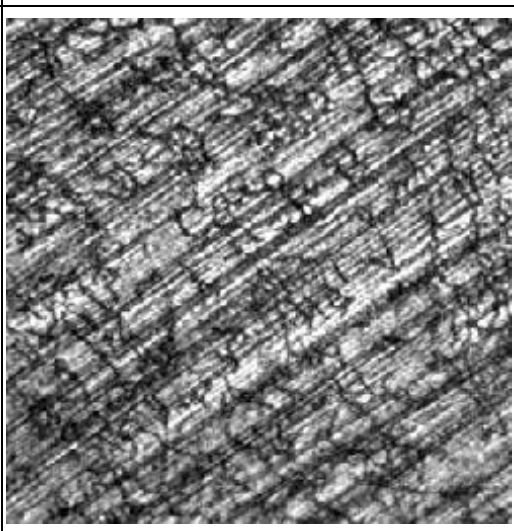
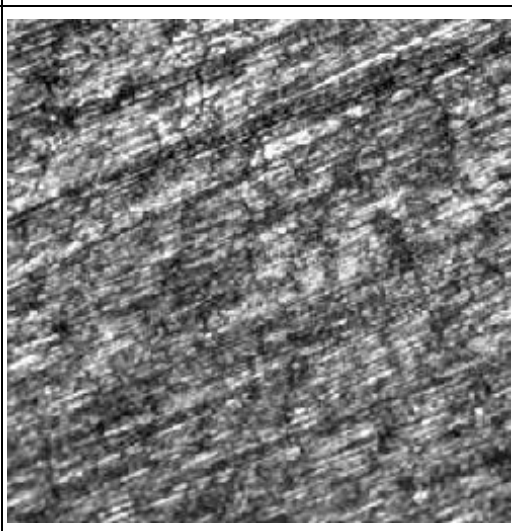
試片編號	焊藥種類	焊道中央 50x	焊道邊緣 50x
1	No Flux		
2	SiO ₂		
3	Cr ₂ O ₃		

圖 4-11 活性助焊劑與焊道組織

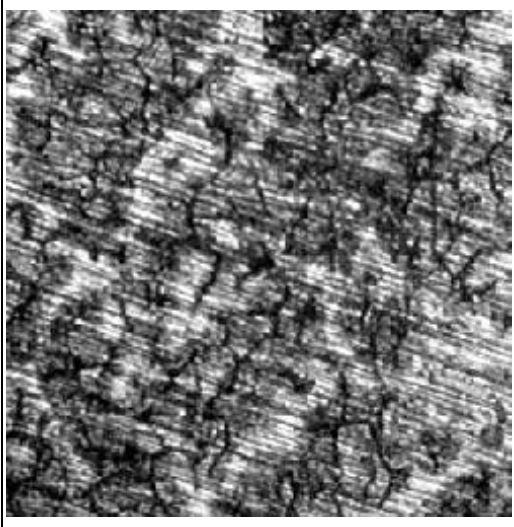
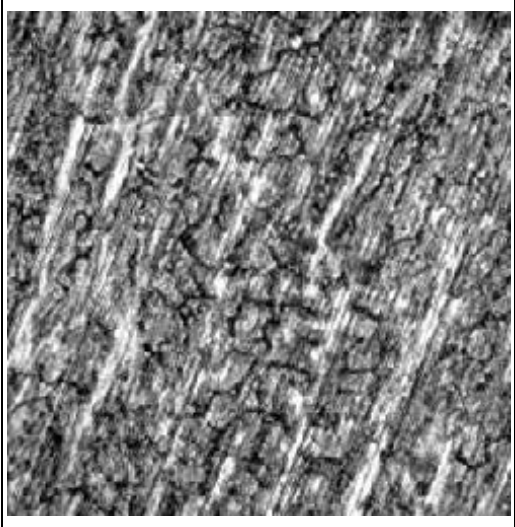
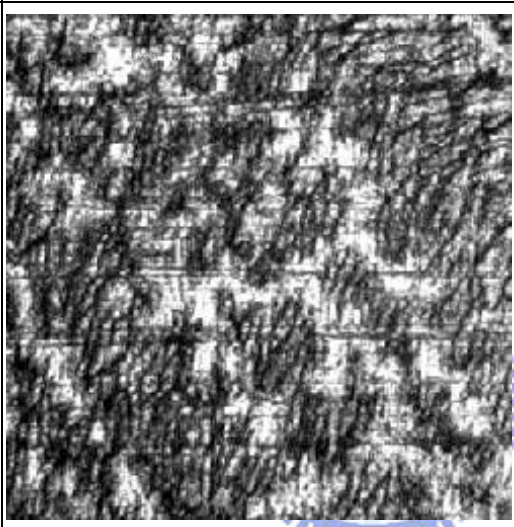
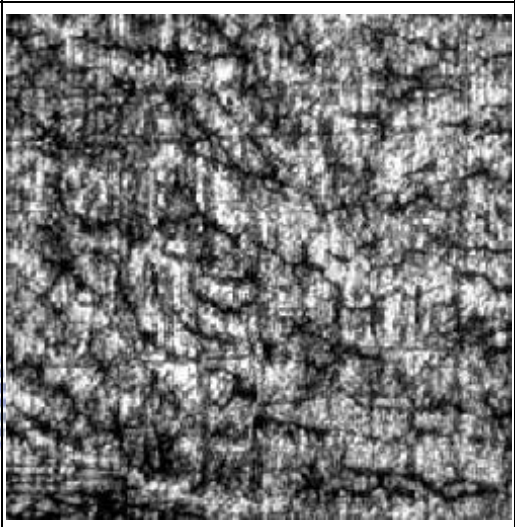

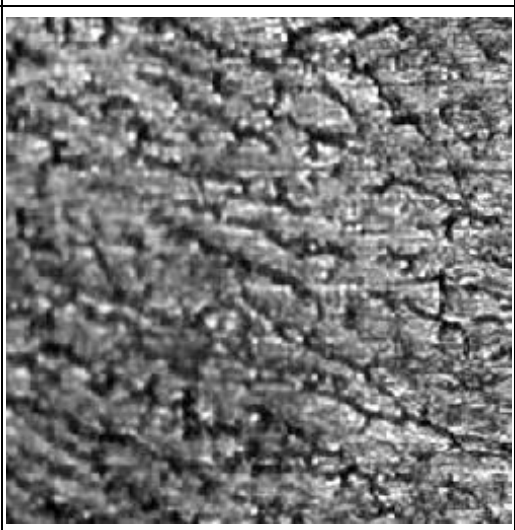
4	ZnO		
5	TiO ₂		
6	MgO		

圖 4-11 活性助鋅劑與鋅道組織(續)

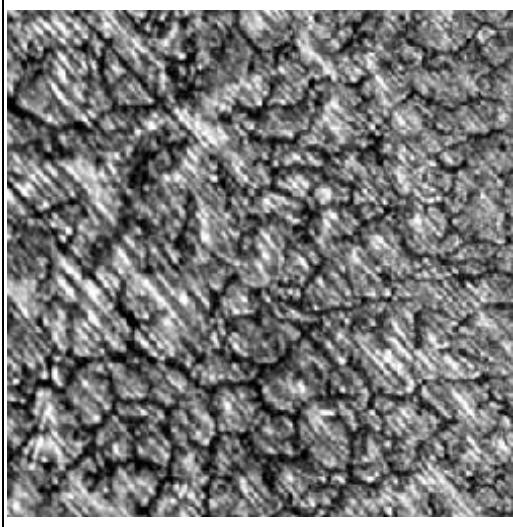
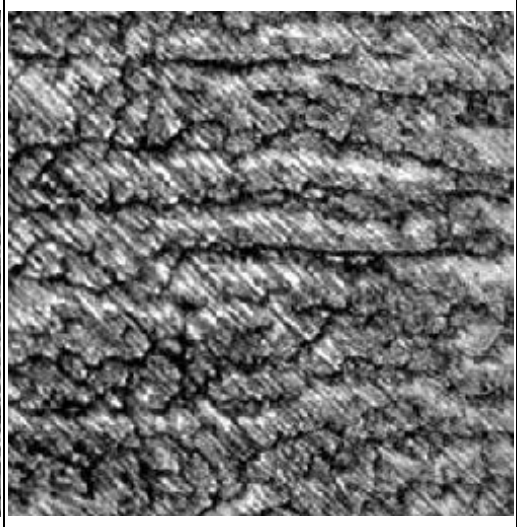
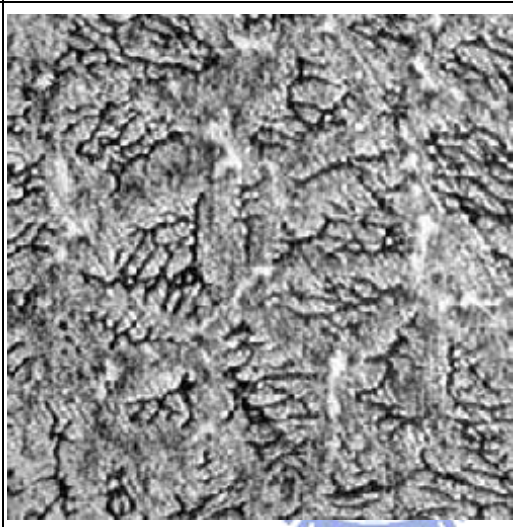

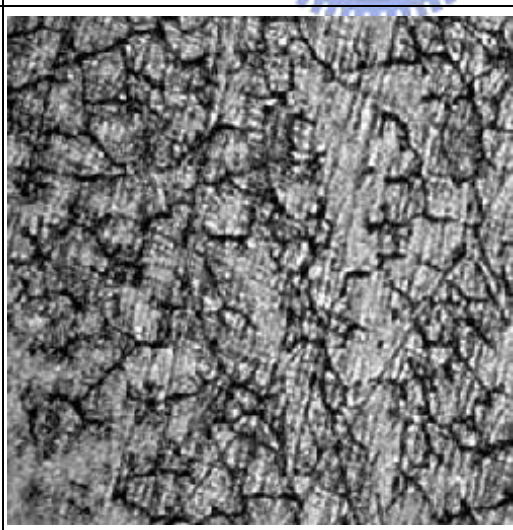
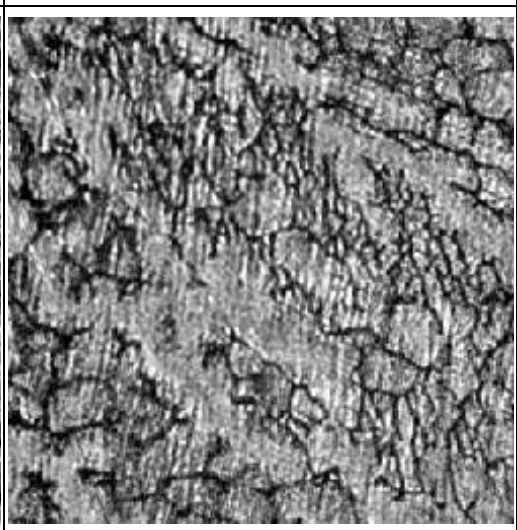
7	MnO_2		
8	$CaCO_3$		
9	Fe_2O_3		

圖 4-11 活性助鋅劑與鋅道組織(續)

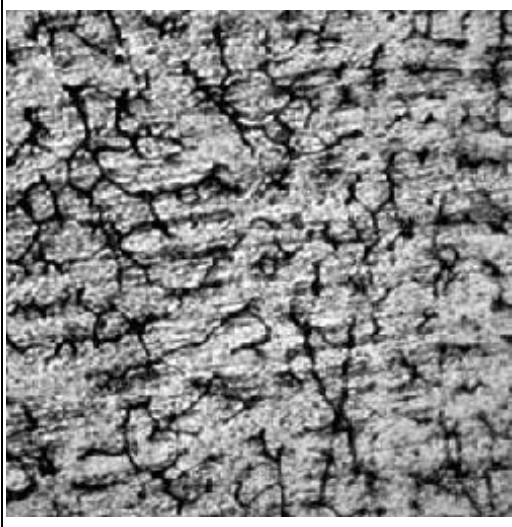
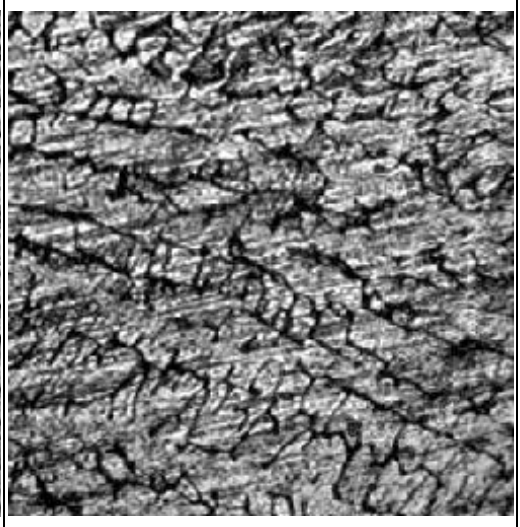
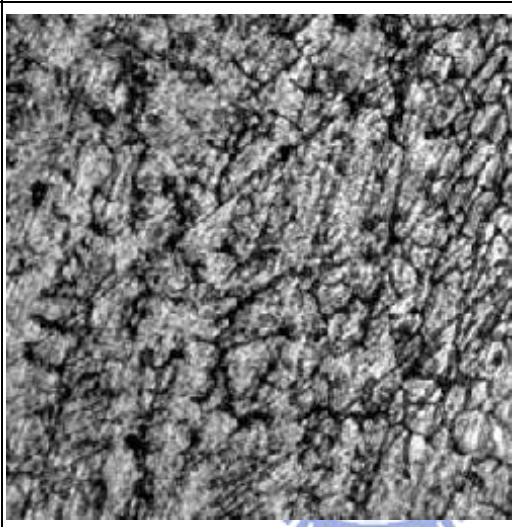
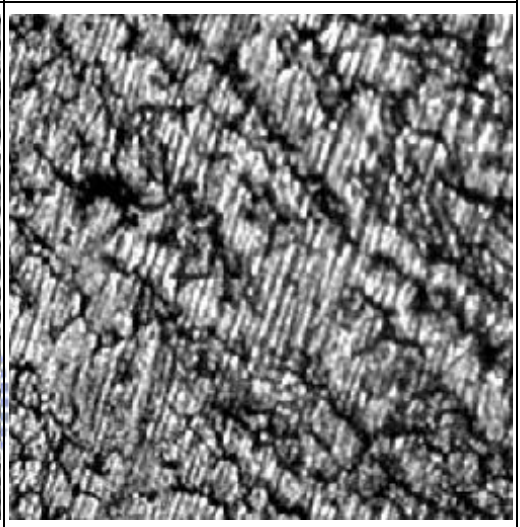
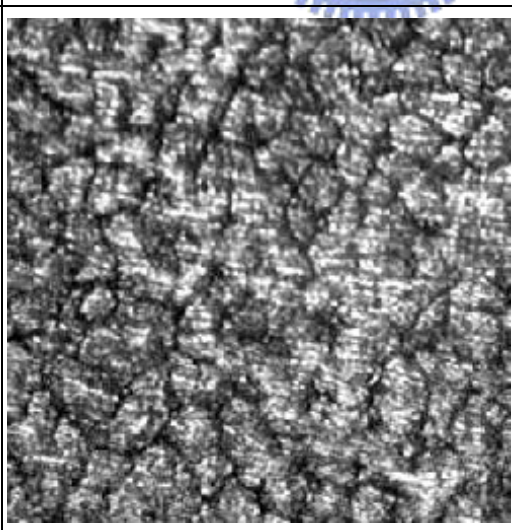
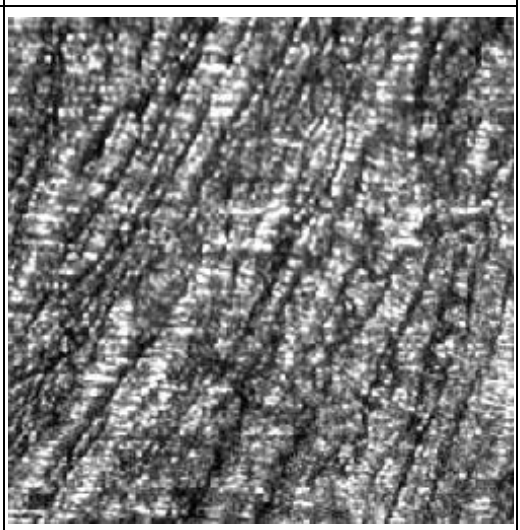
10	CaO		
11	NaF		
12	K_2CO_3		

圖 4-11 活性助鋅劑與鋅道組織(續)

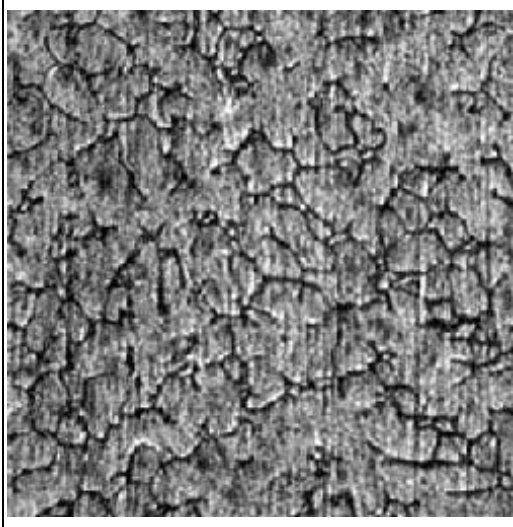
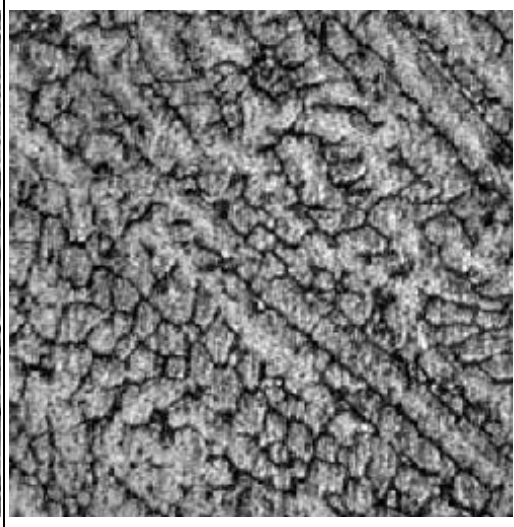
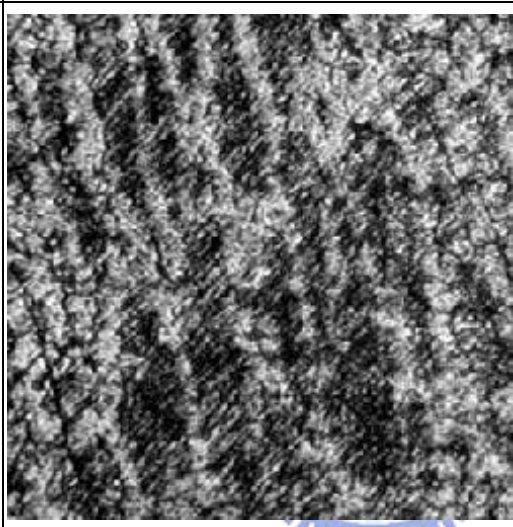
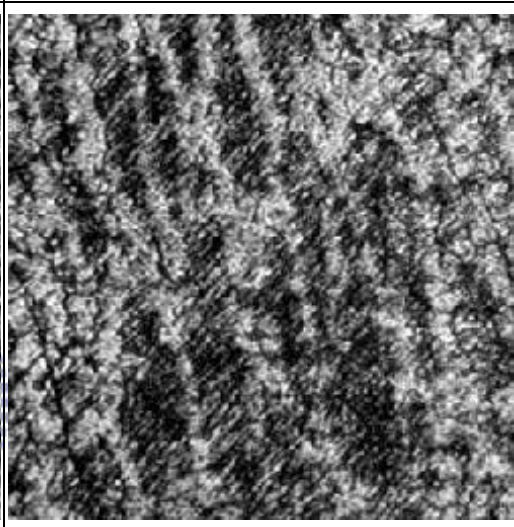
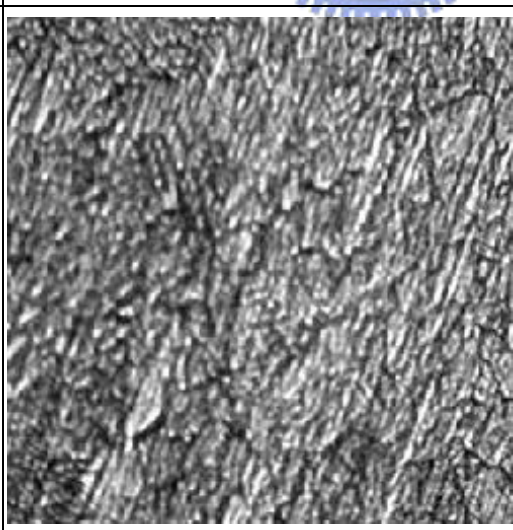
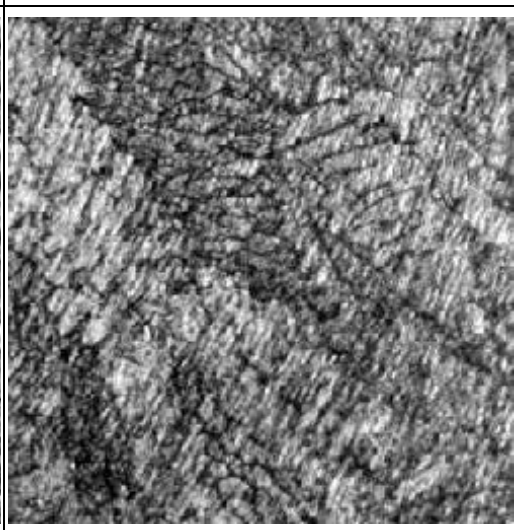
13	Al_2O_3		
14	CaF_2		
15	Flux core		

圖 4-11 活性助銲劑與銲道組織(續)

4.7 活性助銲劑對銲道微硬度之影響

添加活性助銲劑與無添加助銲劑之銲道微硬度量測結果，如圖 4-10 所示。由圖中可發現，除 CaCO_3 、 K_2CO_3 、 NaF 對於銲道的微硬度值有明顯之提升外，其於之活性助銲劑對微硬度值的改變並不明顯。

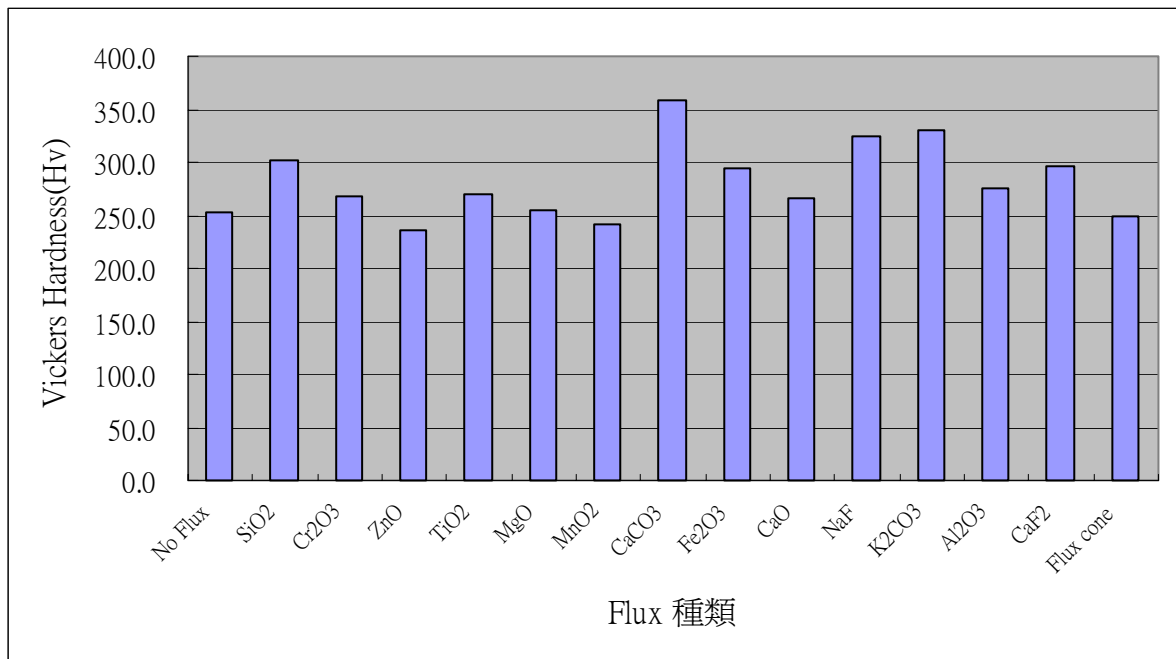


圖 4-12 活性助銲劑與銲道微硬度之關係

第五章 結論

綜合以上實驗結果可歸納出下述結論：

1. 以鐸道鐸道深度之評估來講，效果最佳為 MnO_2 ，而效果最差為 SiO_2 及包藥鐸線，但 CaF_2 對鐸道熔深效果雖然良好，卻會產生嚴重之氣孔現象故並非良好之助鐸劑。若以鐸道外觀而言 SiO_2 及 MgO 的效果最好，其中添加 MgO 助鐸劑所得之熔深效果比未添加時增加約 40%，故同時考量熔透深度與鐸道外觀時， MgO 為最佳之助鐸劑。
2. 在未添加任何活性助鐸劑的情況下，以對接間隙對熔透深度之影響最大 (65%)，鐸接電流次之 (27%)，鐸接電壓與鐸槍走速則合計約小於 10%。
3. 除 $CaCO_3$ 、 K_2CO_3 、 NaF 對於鐸道的微硬度值有明顯之提升外，其餘之活性助鐸劑對微硬度值的改變並不明顯。
4. 添加 MnO_2 、 CaF_2 、 $CaCO_3$ 及 CaO 活性助和劑時，鐸接電弧有明顯收縮之現象；另外 MgO 活性助和劑在電弧的收縮雖不明顯，但其熔透深度仍較未添加任何活性助鐸劑時優良。若以電弧的穩定性而言則以包藥鐸線表現最為突出。
5. 添加活性鐸劑後肥粒相組織都比未添加時低。其中添加 CaF_2 、 CaO 、 Cr_2O_3 與包藥鐸線可降低鐸道中肥粒相的含量至理想的範圍內 (5~10%)，使鐸件得以降低熱裂的敏感性又不致大幅影響其抗腐蝕及韌性。

綜合上述結論，建議可使用 MnO_2 與 MgO 作為 SUS304 MIG-FLUX 的應用。