

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

最佳(鄉土)教材獎

052403

「鏽」給你看—不鏽鋼生鏽之探討

學校名稱：新竹市立建功高級中學

作者： 高二 林宜萱 高二 王綉嬋	指導老師： 王建民 李美璇
-------------------------	---------------------

關鍵詞：不鏽鋼、生鏽、氧化鉻

摘要

不鏽鋼是會生鏽的。它之所以能在一般情況下不生鏽，是因為含有不易生鏽的成分，如鎳與鉻。根據高一所學：鋁的表面氧化層可防止其內部繼續氧化，故我們希望比較其與不鏽鋼的差異。首先取用市面上最常見的三種不鏽鋼：SUS 304、SUS 316 和 SUS 430，進行分項實驗。第一項為觀察不鏽鋼加熱至不同溫度時的顏色變化；接著依據我們的推測：不鏽鋼表面也有氧化層保護內部，於是設計各種抗氧化試驗並藉物理方法檢測其表面的粗糙度。再來試將其進行生鏽反應，生鏽反應主要肇因於水和氧，而酸液與食鹽又將加劇反應。先將調配後的溶液噴灑在不鏽鋼上遂放置於室溫中，再觀察其變化。由於不鏽鋼表面會產生褐色鐵鏽，因此最後再利用草酸將鏽去除，並觀察其重量變化。

壹、研究動機

不鏽鋼是日常生活中人們偏好使用的金屬材料，由於大眾普遍認定不鏽鋼有「不鏽」的特性，能夠抵抗環境腐蝕，因此不鏽鋼已廣泛運用在廚具或醫藥器材上，甚至連工業機械也不可或缺。但某次，我們將裝了檸檬水的保溫杯放了一個晚上沒有洗，隔日早上，發現保溫杯內層有接觸到液體的表面有些許的顏色改變。

在查詢資料〔1〕的過程中，查閱到不鏽鋼擁有良好的耐蝕性，但在一定的條件下依然會生鏽，因此我們繼續延伸此方向，在高一的課程〔2〕中，我們學過各種金屬的特性，其中有一項是關於氧化層的緻密性。例如鋅、鋁金屬的緻密氧化層，緻密氧化層能夠保護金屬內部不再繼續受到氧化，此項鋁金屬特性幾乎人盡皆知。而我們常使用的不鏽鋼比其他金屬不易被氧化，由此我們設想不鏽鋼和鋁一樣也會有類似氧化層的物質，防止其生鏽。

貳、研究目的

- 一、 探討不同溫度對不鏽鋼與鋁片的影響
- 二、 探討不同溫度對不鏽鋼與鋁片在鹽酸溶液中的影響
- 三、 探討不同種類的不鏽鋼在不同溫度熱處理下以電解測試其重量變化
- 四、 探討不同溫度下表面結構對電阻的影響
- 五、 探討不同溫度下表面結構對接觸角的影響
- 六、 探討不同種類的不鏽鋼在不同溫度熱處理下以草酸除鏽的重量變化

參、研究設備及器材

SUS304 不鏽鋼片 4X5X0.1(cm)	SUS316 不鏽鋼片 4X5X0.1(cm)	SUS430 不鏽鋼片 4X5X0.1(cm)	鋁片 4X5X0.1(cm)
			
酒精	鹽酸	草酸	棉花
			
電子秤	PORA 高溫爐	超音波清洗機	烘箱
			
注射器	三用電表	電流供應器	噴霧器
			

肆、研究過程或方法

一、研究流程圖

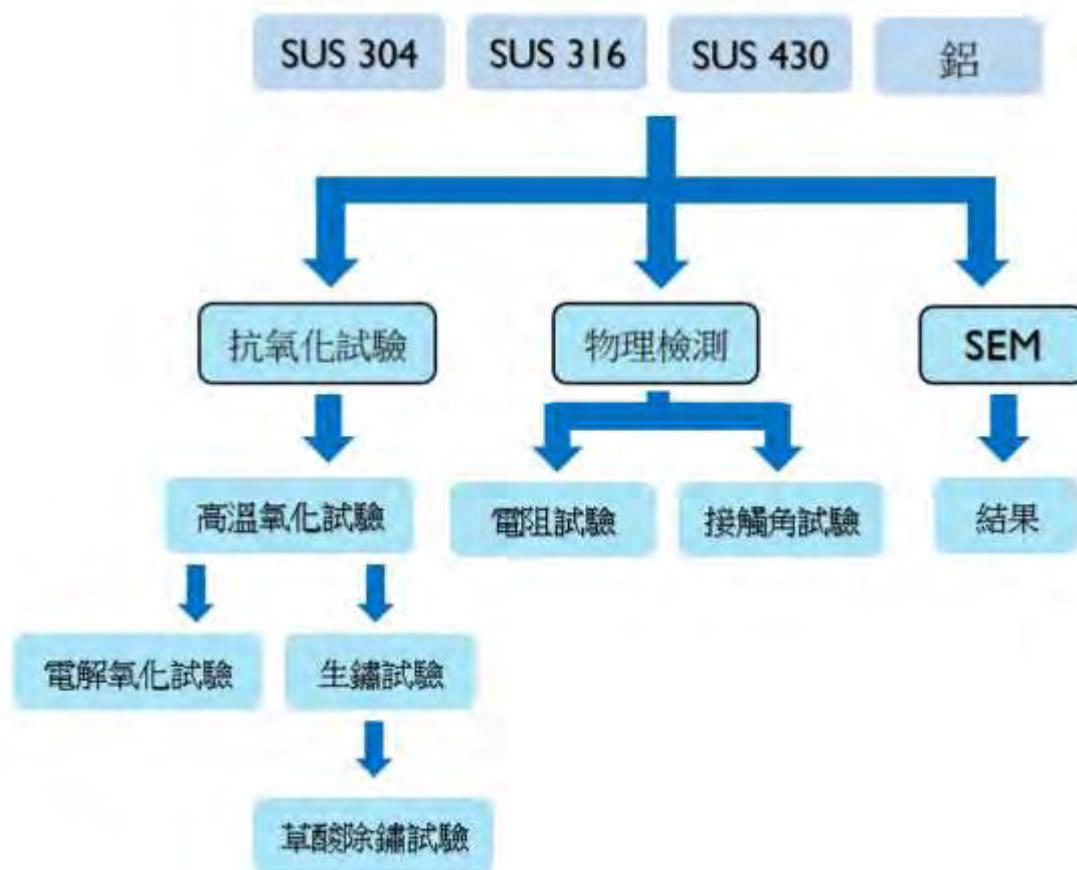


圖 4-1 實驗流程圖

二、研究原理

(一) 不鏽鋼特性

不鏽鋼分為 200、300、400、500 等系列，市面上常見的有 SUS 304、SUS 316、SUS 430。200 系列的不鏽鋼成分含有鎳、鉻、錳，也因為含有錳，因此在台灣的合法市面上已經不再出現。300 系列的不鏽鋼成分含有鎳(7%至 20%)與鉻(16%至 20%)，也具有較佳的耐高溫性質、耐腐蝕性以及形成性，而最常在市面上使用的分別是 SUS 304 與 SUS 316。400 系列的不鏽鋼成分含有鉻，而沒有含鎳，其耐腐蝕性比較差，為較廉價的不鏽鋼。500 系列的不鏽鋼成分含有少量的鉻，而其特性與 400 系列大同小異。

表 4-1 不鏽鋼 SUS304、316、430 比較表

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
成分	70%鐵 18%鉻 8%鎳	67%鐵 18%鉻 10%鎳 2%鉬	80%鐵 18%鉻 0%鎳
價格	中	高	低
磁性	不具磁性	不具磁性	具有磁性
防鏽	中	優	差
功用	耐蝕容器、餐具、傢俱、欄杆、醫療器材	食品工業、外科手術器材、海邊易腐蝕環境用金屬、船舶裝配、建材	裝飾用、汽車飾品扣接件、家具用品、電磁爐
種類	奧斯田鐵型	奧斯田鐵型	肥粒鐵型
俗稱	18-8 不鏽鋼	18-10 不鏽鋼	18-0 不鏽鋼
特色	當雜質含量高時,加工後偶爾會呈現弱磁性、此弱磁性只能使用熱處理的方式消除	添加鉬元素則有一種抗腐蝕的特殊結構	有良好的成型性

(二) 敏化現象

在 480°C 至 860°C 會產生敏化現象，已經被固溶處理的奧氏體不鏽鋼內部的鉻會以碳化鉻的形式從固體內析出，造成不鏽鋼表面有晶界腐蝕敏感性。元素鉻具有抗腐蝕性，但因為敏化現象使抗腐蝕性降低，因此在此溫度範圍內不鏽鋼會比較容易被腐蝕。

(三) 空穴效應

當強烈的高音波照射或高速的流體摩擦，液體會產生空穴崩潰形成高溫、高壓、放電、發光或激震波等作用。而我們使用的超音波清洗機是利用超音波振動使液體瞬間產生高壓與低壓，而在液體中形成空洞，使溶於液體的氣體成為氣泡，其氣泡被高壓消滅時，會以強大的衝擊波衝擊附著於固體上方的污垢。

三、自製儀器

(一) 電阻試驗

自製電阻架，以方便控制力道大小

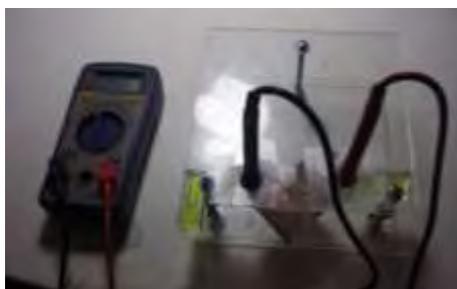


圖 4-2 自製電阻架

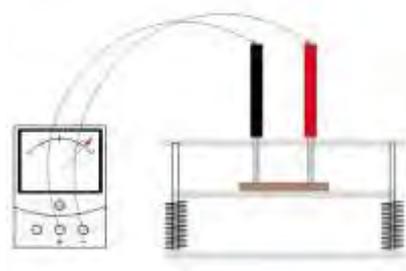


圖 4-3 自製電阻示意圖

(二) 電解氧化試驗



圖 4-4 電流供應器與電解材料

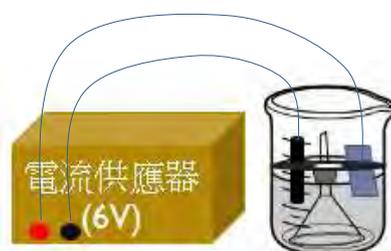


圖 4-5 電流供應器與電解材料示意圖

四、抗氧化試驗

(一) 高溫氧化試驗

1. 先將 SUS 304、SUS 316、SUS 430 不鏽鋼片和鋁片放置高溫爐加熱。
2. 設定溫度分別為 300°C、500°C、700°C、900°C，時間為兩小時。
3. 自然冷卻後拿出。
4. 重複實驗四次。
5. 其中鋁熔點為 660°C，因此鋁在 660°C 後與不鏽鋼分開加熱。

(二) 生鏽試驗

1. 調配 0.5 M 的鹽酸水溶液加上 20 g 的食鹽。
2. 使用噴霧器按壓一次於樣本上。
3. 將所有樣本放置於空氣內等待氧化。
4. 每 24 小時重複噴酸一次。



圖 4-6 不鏽鋼片噴酸示意圖

(三) 電解氧化試驗

1. 調配 10 % 的硫酸水溶液。
2. 將碳棒放置陰極、不鏽鋼放置陽極。
3. 電解五分鐘。
4. 放置 100°C 烘箱五分鐘烘乾並秤重。
5. 每個樣本重複三次觀察重量改變。

五、 電阻試驗

1. 使用自製電阻架與三用電表。
2. 將三用電表插入電阻架中。
3. 將三用電表測量針接觸於樣本片上方。
4. 測量每一片樣本的電阻大小。

六、 接觸角試驗

1. 使用注射器將其裝滿蒸餾水。
2. 定量 1ml 將蒸餾水滴在金屬表面。
3. 觀察其水滴的形狀。
4. 測量水滴側邊與金屬表面的角度 θ 角。



圖 4-7 注射器滴水

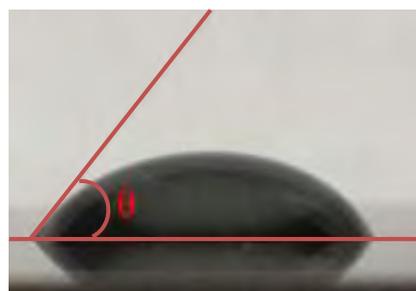


圖 4-8 水滴與金屬面接觸角

七、 草酸除鏽試驗

1. 調配 0.5 M 的草酸水溶液。
2. 把生鏽的樣本放入裝有 100 ml 草酸水溶液的燒杯中。
3. 放入超音波清洗機 20 分鐘。
4. 共泡製一個小時候拿出測量重量。



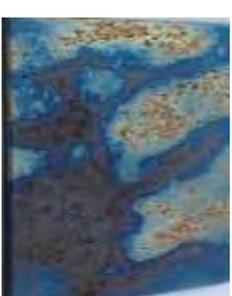
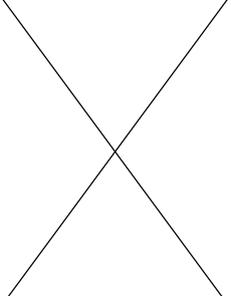
圖 4-9 超音波草酸除鏽

伍、研究結果

一、抗氧化試驗

(一) 高溫氧化試驗

表 5-1 不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 高溫處理

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

(二) 生鏽試驗

表 5-2 SUS 304、SUS 316、SUS 430

未處理噴鹽酸重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
原重	15.48	15.61	14.80
第一次	15.52	15.63	14.83
第二次	15.52	15.63	14.84
第三次	15.55	15.66	14.85
第四次	15.55	15.69	14.88

表 5-3 SUS 304、SUS 316、SUS 430

300°C處理噴鹽酸重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
原重	15.50	15.63	14.82
第一次	15.52	15.64	14.85
第二次	15.56	15.65	14.97
第三次	15.58	15.69	14.99
第四次	15.58	15.70	15.01

表 5-5 SUS 304、SUS 316、SUS 430

500°C處理噴鹽酸重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
原重	15.50	15.59	14.76
第一次	15.56	15.67	14.87
第二次	15.62	15.73	14.93
第三次	15.66	15.75	14.97
第四次	15.69	15.75	14.99

表 5-6 SUS 304、SUS 316、SUS 430

700°C處理噴鹽酸重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
原重	15.45	15.61	14.79
第一次	15.54	15.68	14.98
第二次	15.62	15.75	15.03
第三次	15.65	15.79	15.06
第四次	15.66	15.80	15.08

表 5-6 SUS 304、SUS 316、SUS 430

900°C處理噴鹽酸重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
原重	15.46	15.59	15.07
第一次	15.50	15.62	15.15
第二次	15.54	15.66	15.19
第三次	15.56	15.67	15.24
第四次	15.57	15.67	15.25

單位：g

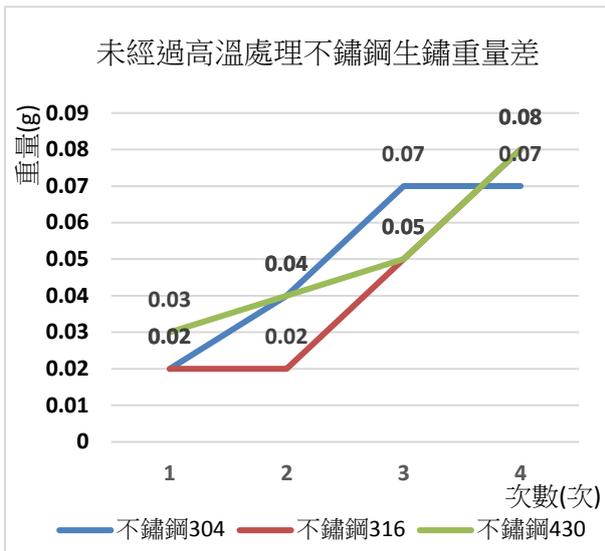


圖 5-1 未經過高溫處理不鏽鋼生鏽重量差

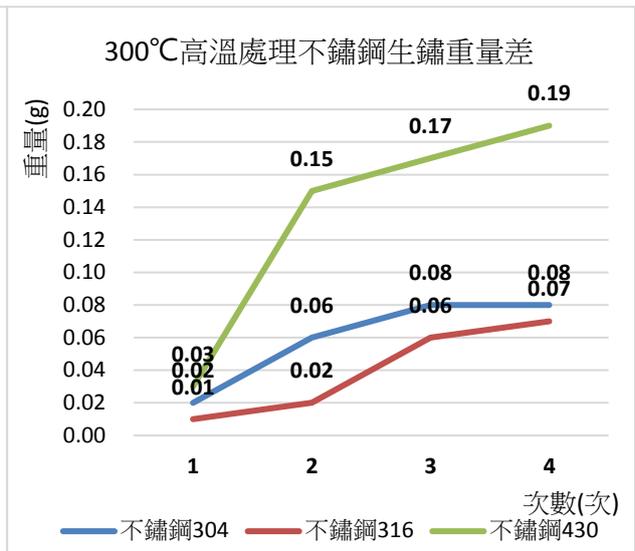


圖 5-2 300°C 高溫處理不鏽鋼生鏽重量差

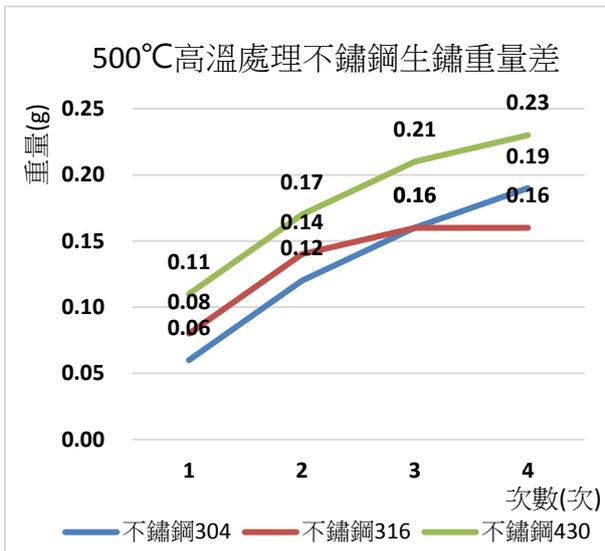


圖 5-3 500°C 高溫處理不鏽鋼生鏽重量差

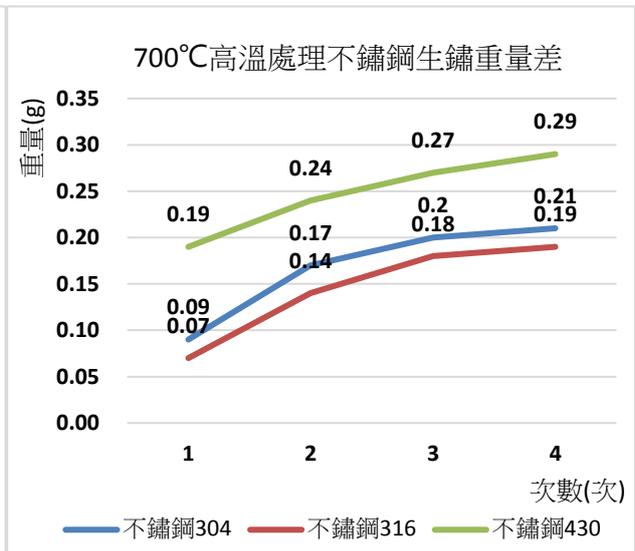


圖 5-4 700°C 高溫處理不鏽鋼生鏽重量差

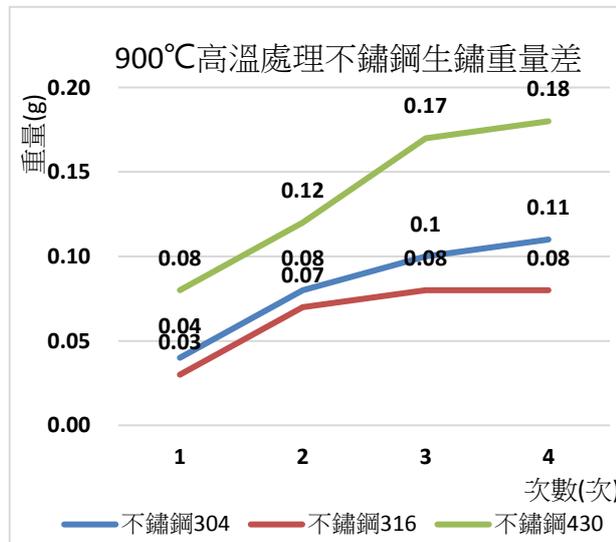


圖 5-5 900°C 高溫處理不鏽鋼生鏽重量差

表 5-7 不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 第一次生鏽試驗

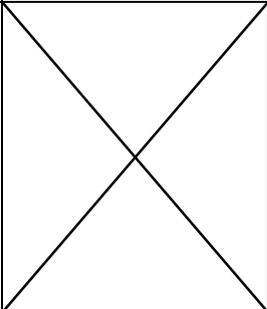
	SUS 304	SUS 316	SUS 430	Al
未處理				
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

表 5-8 不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 第二次生鏽試驗

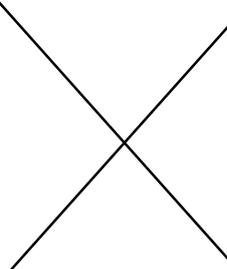
	SUS 304	SUS 316	SUS 430	Al
未處理				
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

表 5-9 不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 第三次生鏽試驗

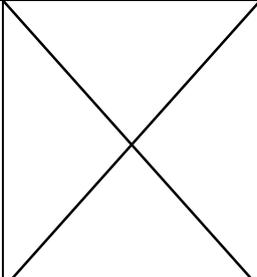
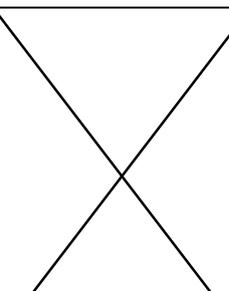
	SUS 304	SUS316	SUS 430	Al
未處理				
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

表 5-10 不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 第四次生鏽試驗

	SUS304	SUS 316	SUS 430	Al
未處理				
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

(三) 電解氧化試驗

表 5-11 加熱至 300°C 高溫處理不鏽鋼經過電解的重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
0 分鐘	15.49	15.61	14.70
5 分鐘	15.40	15.53	14.59
10 分鐘	15.29	15.42	14.46
15 分鐘	15.21	15.32	14.33

單位：g

表 5-12 加熱至 500°C 高溫處理不鏽鋼經過電解的重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
0 分鐘	15.36	15.64	14.80
5 分鐘	15.20	15.49	14.58
10 分鐘	15.06	15.35	14.38
15 分鐘	14.94	15.21	14.19

單位：g

表 5-13 加熱至 700°C 高溫處理不鏽鋼經過電解的重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
0 分鐘	15.42	15.64	14.74
5 分鐘	15.21	15.44	14.45
10 分鐘	15.02	15.25	14.18
15 分鐘	14.82	15.07	13.91

單位：g

表 5-14 加熱至 900°C 高溫處理不鏽鋼經過電解的重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430
0 分鐘	15.40	15.60	14.73
5 分鐘	15.29	15.54	14.57
10 分鐘	15.20	15.49	14.40
15 分鐘	15.12	15.42	14.21

單位：g

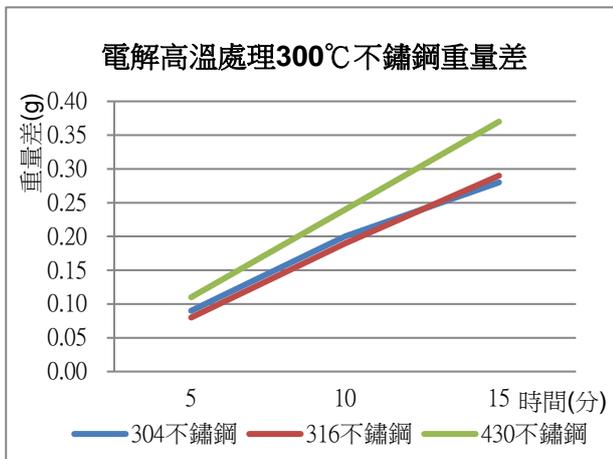


圖 5-6 電解高溫處理 300°C 不鏽鋼重量差

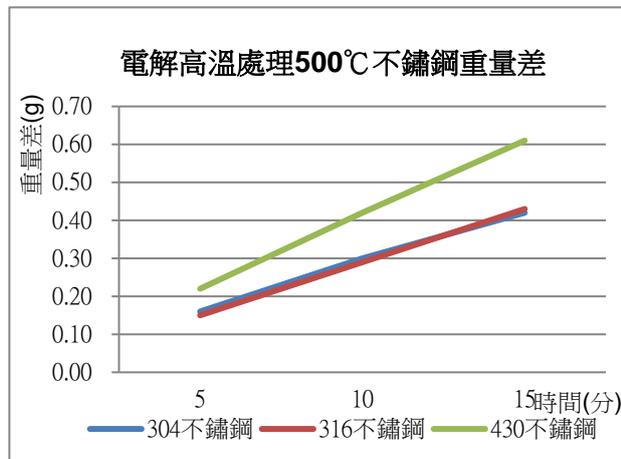


圖 5-7 電解高溫處理 500°C 不鏽鋼重量差

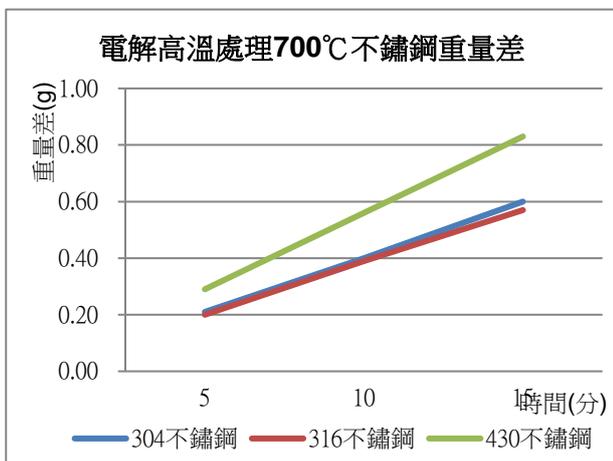


圖 5-8 電解高溫處理 700°C 不鏽鋼重量差

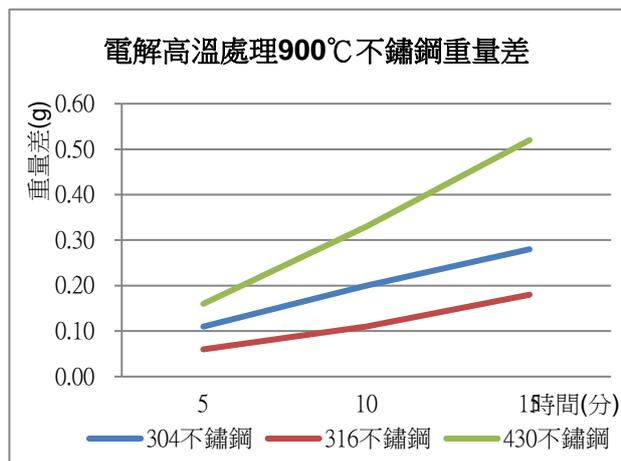


圖 5-9 電解高溫處理 900°C 不鏽鋼重量差

二、電阻試驗

(一)第一次電阻測量結果

表 5-15 不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 和鋁第一次電阻測量表

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
300°C	2.5	2.5	2.7	2.5
500°C	2.5	2.5	2.5	2.4
700°C	2.6	2.4	2.3	2.4
900°C	1.9	1.9	2.4	

單位：Ω

(二)第二次電阻測驗結果

表 5-16 不鏽鋼 SUS304、SUS 316、SUS 430 和鋁第二次電阻測量表

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
300°C	4.4	4.7	4.3	4.2
500°C	4.6	6.0	6.1	4.8
700°C	5.6	8.0	13.0	7.2
900°C	9.7	16.3	16.6	

單位：Ω

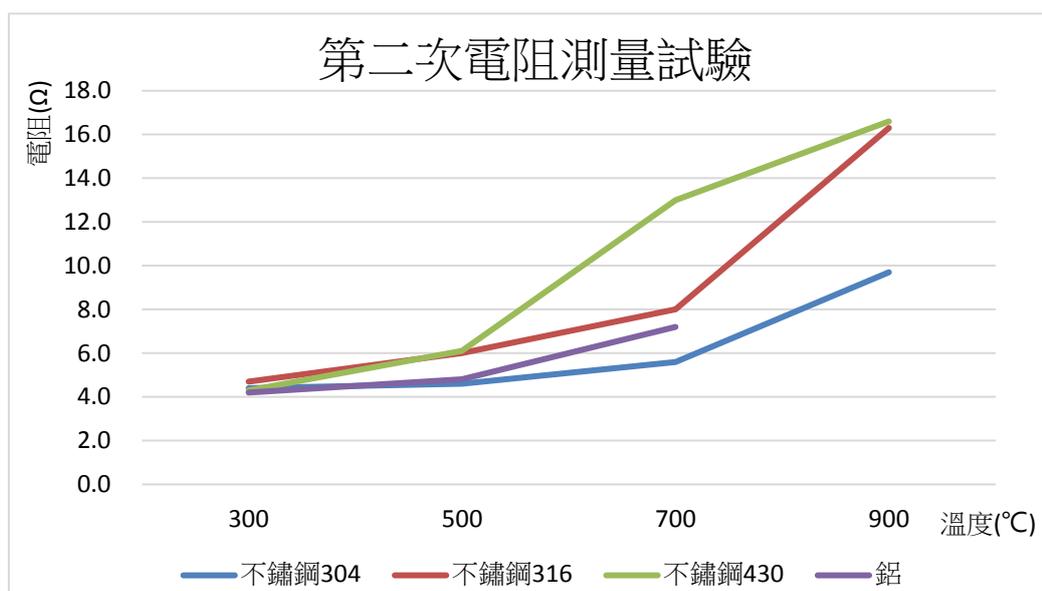


圖 5-10 第二次電阻測量試驗

三、接觸角試驗

表 5-17 水滴滴於不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 的角度

	300°C	500°C	700°C	900°C
SUS 304				
角度	80°	73°	61°	41°
SUS 316				
角度	80°	78°	50°	42°
SUS 430				
角度	71°	65°	62°	34°

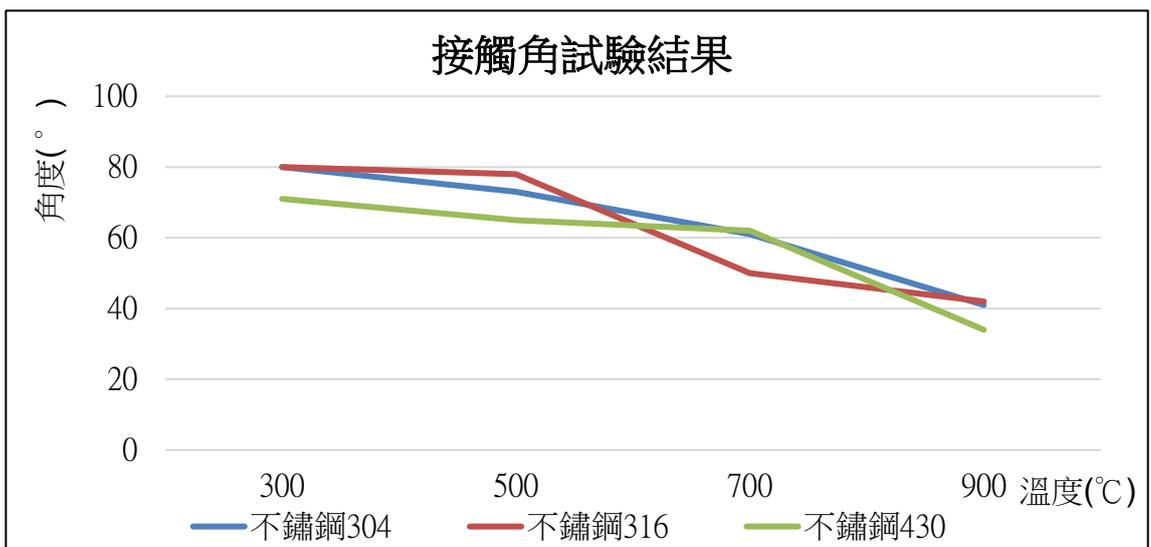


圖 5-11 接觸角試驗結果

四、草酸除鏽試驗

表 5-18 草酸酸洗前的重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
未燒	15.48	15.62	14.86	5.70
300°C	15.51	15.63	14.82	5.60
500°C	15.47	15.58	14.77	5.74
700°C	15.47	15.61	14.83	5.61
900°C	15.48	15.66	15.10	

單位：g

表 5-19 草酸酸洗後的重量

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
未燒	15.45	15.58	14.75	5.35
300°C	15.47	15.59	14.70	5.17
500°C	15.40	15.53	14.62	5.30
700°C	15.38	15.49	14.66	5.19
900°C	15.39	15.54	14.96	

單位：g

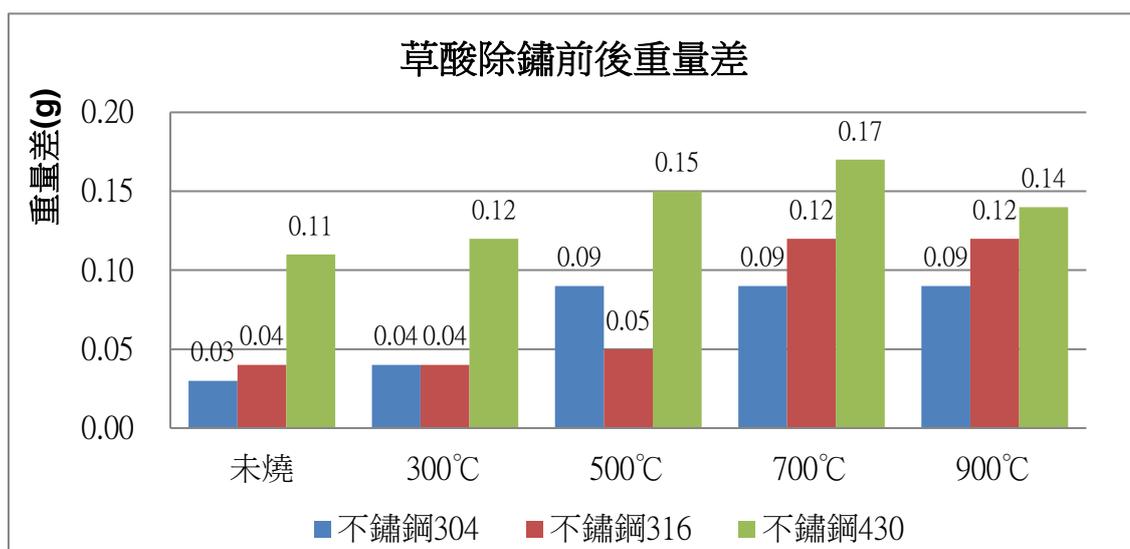


圖 5-12 草酸除鏽前後重量差

五、SEM 掃描式電子顯微鏡

表 5-20 SEM 掃描式電子顯微鏡照片

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
未處理				
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

陸、討論

一、不鏽鋼的元素特性

不鏽鋼主要元素有鐵、碳、鎳、鉻、鉬，不同元素有不同性質，組成各式各樣的不鏽鋼。各金屬特性分述如下：

鐵(Fe)：一種灰白色而有光澤的金屬元素，質堅硬富延展性，天然鐵石初步鎔鑄後即成為鑄鐵，再鍊後則成熟鐵。最後精鍊成鋼鐵，用途極廣。

碳(C)：一種化學非金屬元素，在工業及醫藥上用途極廣。

鎳(Ni)：一種銀白色而有光澤的金屬元素，不易生鏽，可製硬幣。

鉻(Cr)：一種灰白色的金屬元素，韌性硬度很高，質輕，不易生鏽。

鉬(Mo)：一種銀白色的金屬元素，質硬，熔度極高，可製合金。

表 6-1 不鏽鋼添加元素的特性

性質	增加強度	增加耐蝕性	增加硬度	增加韌性
元素	C、Mo、Al	Cr、Ni、Mo	C	Ni

二、不鏽鋼種類

不鏽鋼 SUS 304、SUS 316、SUS 430 是市面上最容易購買的種類，也是一般大眾最常於市面上販售的類別。SUS 430 為鉻系，其成份不含有鎳，且耐蝕性則較 300 系不鏽鋼差，而 SUS 304、SUS 316 是屬於鎳鉻系，其能抗高溫腐蝕且具有較好的耐蝕性。這三種常見的不鏽鋼皆含有 18% 的鉻，其中 SUS 316 所含的鎳又比 SUS 304 多，鎳具有抗鏽的特性，因此我們推估在此三種不鏽鋼中 SUS 316 耐蝕性最佳，耐蝕性最差的則是 SUS 430，因其成份中不含有鎳。由此比較可以了解 400 系的不鏽鋼會比 300 系列的不鏽鋼更容易生鏽。

除了以化學成分分類，還能以金相組織分成不同種的不鏽鋼。鋼鐵由高溫的鐵水狀態冷卻硬化過程中，因冷卻速度和方法不同而會形成不同結晶構造。不鏽鋼可以不同的成分分成五種不同的型式，即奧斯田鐵型、肥粒鐵型、麻田散鐵型、析出硬化型和雙相型不鏽鋼。

三、 實驗結果說明

(一)高溫氧化試驗

根據不鏽鋼的敏化現象配合高溫爐來設計所要加熱的溫度，由於敏化現象介於 480°C 至 860°C 之間，因此我們分別設計一個低於敏化現象的 300°C，介於敏化現象的 500°C 與 700°C，以及超過敏化現象的 900°C，觀察加熱至不同溫度的變化，與不同種類不鏽鋼受高溫的影響，觀察點為其表面的改變與其重量改變，其中加熱至 900°C 的鋁熔在陶瓷板中，因此鋁不與不鏽鋼一起加熱至 900°C。

由表面觀察可知，加熱至 300°C 的不鏽鋼表面與未加熱相似，表面的光滑觸感與未加熱相似；加熱至 500°C 的不鏽鋼表面顏色明顯地變化，SUS 304、SUS 316 以肉眼觀察為紫色，SUS 430 則是藍色，而表面為光滑觸感；加熱至 700°C 的不鏽鋼顏色也發生變化，皆呈現大面積的褐色紋路，且表面產生鐵鏽，由此推論溫度也是使不鏽鋼加速生鏽的因素之一；加熱至 900°C 的不鏽鋼顏色明顯變深呈現深咖啡色，推估有可能是碳析出，而表面為完全粗糙。而經過 300°C 以及 500°C 的鋁皆與未加熱鋁的表面相同，加熱至 700°C 的鋁表面變不平滑，但不論經過多少溫度鋁的表面都不會產生深色的鐵鏽。

上文所提到經過 500°C 高溫處理的不鏽鋼呈現藍、紫色，是因為不鏽鋼的氧化膜是一層五色透明膜，當平行光照射於表面時，光會有兩個部分進行反射與折射，而色澤為干涉原理，當波峰對波峰時，光波震動會變強，而震動波強。而平行白光是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫所組成的複合光，而不鏽鋼表面上會呈現什麼顏色取決於不同不鏽鋼的氧化層厚度，因此經過 500°C 高溫處理的不鏽鋼呈現藍、紫色。

此實驗前，我們猜測不鏽鋼如果生鏽，則重量應變大，但經過實驗後測量並無明顯的變化，因為我們使用的樣本為 5 X 4 X 0.1 公分，由於樣本太小，加熱前後重量差不明顯，因此無法以重量比較。

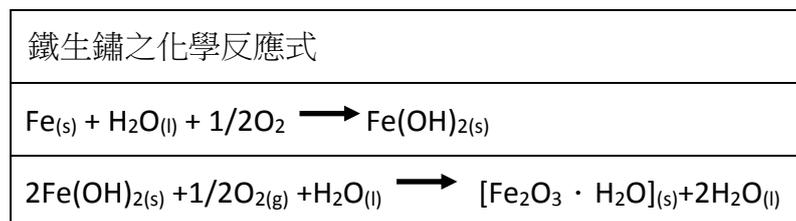
(二)生鏽試驗

生鏽是最常見的腐蝕，達到一定的條件，其表面會產生鏽蝕，而不鏽鋼有耐蝕的特性，其表面有一層緻密的氧化鉻，防止其內部繼續被侵蝕，此稱為「鈍化作用」。因此我們將生鏽後的不鏽鋼進行兩種比較。

在第一次實驗後，未經加熱與加熱至 300°C 的不鏽鋼中，明顯看出 SUS 430 生鏽嚴重，而 SUS 316 又比 SUS 304 不易生鏽，與文獻相符，三係列因含有一定的鎳和鉻是屬於較好耐蝕性的不鏽鋼。加熱至 500°C 時，不鏽鋼表面的顏色因鹽酸而漸漸淡去，長出褐色的鐵鏽，且 SUS 430 較為嚴重。加熱至 700°C 與 900°C 其表面皆生鏽非常嚴重，可是在高溫處理時不鏽鋼表面就是呈深色系，也許會造成視覺上差異，但其重量皆有增加，可以明確知道其有生鏽。接著又過了幾天，全部的不鏽鋼都呈現了深色，原本沒生鏽的部分都生鏽了，由文獻可知一旦使薄且密的氧化膜被不斷地破壞，氧原子就會不斷滲入，而金屬中的鐵離子會不斷地和氧結合，形成疏鬆的氧化鐵，金屬表面也就不斷地被鏽蝕。

以經過不同溫度高溫處理比較，經過高溫處理 700°C 不鏽鋼的重量差最大，代表在此溫度下最容易生鏽，因為此溫度處於敏化現象內的最高溫，而其氧化鉻被破壞地最嚴重；以不鏽鋼種類比較，SUS 430 的重量差最大，代表其最容易生鏽。

表 6-2 鐵生鏽之化學反應式



(三)電解氧化試驗

實驗中，不鏽鋼片當陽極，會失去電子，氧化反應使其產生氧化物，並釋放離子，而碳棒當陰極。電解開始後，不鏽鋼會釋放出離子，碳棒會產生氫氣，而燒杯內的硫酸水溶液會由透明無色變成黃色或綠色的溶液，並且不鏽鋼的重量會隨著電解時間而減少。

在高三選修化學的課程中，有提到氧化還原中的還原電位、電壓的大小與反應物質都會影響其結果，藉由此方法推知，不鏽鋼因含有鐵、鎳、鉻等元素，因此在電解過程中會釋放出其含元素的離子，而其中鉻元素的標準還原電位為 0.74 V ，鐵元素的標準還原電位為 0.44 V ，鎳元素的標準還原電位為 0.23 V ，照理來說鉻離子會最先被釋出，再釋出鐵離子，最後釋出鎳離子，但由於鉻離子與鎳離子皆為綠色，只能知道是其中之一的離子或是所有離子被釋出，而黃色溶液則為鐵離子。

不鏽鋼表面的鉻會與氧氣結合形成氧化鉻，而氧化鉻可以保護內部金屬不被氧化。實驗前，我們設想不同種類的不鏽鋼與經過不同高溫處理後的不鏽鋼會有不同的抗腐蝕性，由表 5-11 至 5-14 可知，由各種類不鏽鋼來比較，SUS 430 所減少的重量最多，表示其表面的氧化鉻最無法保護內部的金屬，因此其離子釋放最多；反之，SUS 316 所減少的重量最少，表示其表面的氧化鉻最保護力最好，內部離子最不易被釋出。而由經過各溫度處理的不鏽鋼來比較，經過 700°C 高溫處理的不鏽鋼因為敏化現象中最高溫，所減少的重量最多，表示其表面的氧化鉻被破壞最嚴重，最無法保護內部的金屬，而使其離子釋放最多；而經過 900°C 高溫處理的不鏽鋼，因為已超過敏化現象的溫度範圍，所以減少的重量較經過 700°C 高溫處理的不鏽鋼少。

(四)電阻試驗

我們設想不鏽鋼經過越高溫處理，其表面的氧化鉻會被破壞，而使內部金屬與氧結合形成氧化物，其氧化物會呈現較緻密的狀態，因此當氧化鉻被破壞地越嚴重其電阻值會越大。

在第一次測量時，僅以手拿取探針測量兩對角距離的電阻值，發現當溫度越高時，不鏽鋼的電阻反而是變小的或呈現沒有規律的電阻值，與原本推論相反，我們推測是因為徒手測量力道不同，無法測量到精準的數據。因此我們自製了一台電阻測量架(圖 4-2)，在第二次測量中，我們以檯架固定測量針，以固定力道與距離，測量出的結果由圖表(圖 5-10)可知，當不鏽鋼經過越高的溫度加熱後，其電阻值就越高，由此測量證實我們的推測，當經過越高溫的處理，其表面氧化鉻被破壞地越嚴重，產生的氧化物也越多。

(五)接觸角試驗

由接觸角試驗可知，金屬表面並非完全光滑，表面有細微而肉眼無法看見的凹凸結構。為了由接觸角試驗結果推論不鏽鋼表面的凹凸結構，我們使用不同顆粒數大小的砂紙，規格分別為 1000 Cw、320 Cw、220 Cw、100 Cw，與接觸角試驗相同的步驟，由實驗結果(表 6-2)證明出單位面積中顆粒數愈少，其顆粒愈大，角度也愈大。

由實驗數據可知(表 5-17)，不鏽鋼所受熱溫度越高，水滴與表面的接觸角度越小，單位面積的顆粒數越多，顆粒大小越小，代表其表面被破壞越嚴重，產生較緻密的氧化層。反之，未受高溫處理的金屬，其水滴與表面角度最大，代表其單位面積顆粒數最少，顆粒粒徑也最大。

表 6-3 水滴滴於不同顆粒數小砂紙的角度

	1000 Cw	320 Cw	220 Cw	100 Cw
角度	41°	60°	73°	88°

(六)草酸除鏽試驗

一般汽車板金在出廠前，皆會使用草酸進行清洗，以除去板金上的髒汙或鐵鏽，再進行烤漆的動作。草酸除鐵鏽的原理為配位形成錯合物，草酸根為雙牙配位子其易與金屬離子形成鍵結，常用於去除重金屬離子，三個草酸根會與一個鐵離子形成草酸鐵。

我們利用草酸酸洗前的重量減去草酸酸洗後的重量，得知上表的重量差。由圖表(圖 5-12)可知，由種類比較，SUS 430 的重量差最大，可證明 SUS 430 因為不含鎳元素，所以最容易生鏽；由不同高溫處理的溫度比較，經過 700°C 高溫處理不鏽鋼的重量差最大，因為此溫度介於敏化現象中最高溫，因此最容易生鏽。

(七)SEM 掃描式電子顯微鏡微觀試驗

藉 SEM 掃描式電子顯微鏡觀察其表面變化(表 5-20)，高溫處理的溫度越高不鏽鋼表面會有越小越密集的顆粒物，則鋁的表面並沒有太大的變化。為了驗證此推論，我們將其與物理試驗作連結，經高溫處理越高溫度所測量的電阻值越大，這是因為溫度升高造成破壞，使氧化物更緻密，形成不平滑的表面；而接觸角試驗中，水滴與表面接觸角會因溫度加熱至越高而變小。

除了觀察加熱至不同溫度其表面的變化，還能比較不同種的不鏽鋼。比較 SUS 304、SUS 316、SUS 430，可以發現三系列在 0°C 至 300°C 有明顯的小塊狀而四系列的 SUS 430 卻沒有，我們推測是因 SUS 430 不含有鎳，導致其沒有小塊狀。其中 SUS 304 加熱至 500°C 其塊狀變得較不明顯，加熱至 700°C 後塊狀更不明顯，而 SUS 316 加熱至 700°C 時其表面產生更大塊的物質，這應該是因為在高溫中原子會移動，並結合也就是所謂的燒結使其由小顆粒與小顆粒結合為一，而 SUS 304 與 SUS 316 的成份相近，但 SUS 316 添加了一種特殊的元素鉬，因此 SUS 316 會與 SUS 304 在高溫處理溫度較高時表面有不同的變化可能是鉬燒結所導致的。

我們推論不鏽鋼表面的氧化鉻在未處理時，呈現較平滑的狀態，當加熱

更高溫時，其表面氧化銻被破壞，因此內部金屬與氧結合形成緻密的氧化物，所以表面呈現較粗糙的狀態，但目前我們只能利用我們所知與看到的圖片進行分析推估與交叉比對，並不能確切知道其表面所含的物質，假使能將表面做元素分析就能知道到底是含有什麼物質。

表 6-4 不同種類不鏽鋼與鋁在不同溫度下結構比較表

種類	說明
SUS 304 SUS 316	當溫度在室溫時表面呈現平滑的塊狀，到達 300°C 時平滑的塊狀會變小變多，當到達 900°C 時會呈現很小的顆粒狀，是因為不鏽鋼含有鐵的成分，而當到達 900°C 時為鐵的變態點會呈現較小的顆粒狀。
SUS 430	在室溫時表面呈現整片平滑狀，而當溫度到達 500°C 時明顯的長出少量的凸起氧化層，當溫度到達 900°C 時，與三系列一樣因為不鏽鋼含有鐵的成分，因此到達鐵的變態點會呈現較小的顆粒狀。
鋁	金屬鋁的表面變化較不鏽鋼的表面變化小，由圖片可知當溫度越高表面並無太大的改變，而此不平滑的表面氧化層為氧化鋁能保護內部金屬不繼續氧化。

四、未來展望

不鏽鋼相較於其他金屬材料確實具有許多優點，抗腐蝕性強、表面光亮、易清洗、易加工、機械性佳、可回收，被廣泛利用於我們的生活中，例如：餐具、日用品、交通工具、建築物等……。可是不鏽鋼真的安全嗎？或許只是因對其了解不足而被蒙蔽，大眾應該先學習不鏽鋼的基本知識，以及打破不鏽鋼並非完全不會生鏽的迷思。前一陣子爆發的不鏽鋼餐具因添加錳元素過量，而危害人體，雖說含較多錳的二系列不鏽鋼已被禁止使用在食品用具上，但除了錳元素，其他元素都是安全嗎？這是我們還需繼續研究及發展的重要議題。

柒、結論

- 一、 由高溫氧化試驗可知，不鏽鋼的氧化層顏色易受到溫度影響，在 500°C 時會有藍、紫色，是因為干涉原理，而加熱至更高溫表面為深色，且會形成鐵鏽；但鋁表面比較不會受到溫度影響，都呈現原本的金屬顏色。
- 二、 在生鏽試驗中，由重量比較，因為 SUS 430 不含鎳元素，最易生鏽，所以重量差最大，而經過 700°C 處理的不鏽鋼在敏化現象中為最高溫，所以其氧化鉻被破壞程度最大，最易生鏽，所以重量差最大；由種類比較，得知 SUS 430 表面變化最快速，最容易長鏽，而由高溫處理溫度比較，經過 700°C 處理的不鏽鋼表面變化最快速，最容易長鏽。
- 三、 在電解氧化試驗中，由種類比較，SUS 430 在 15 分鐘電解內的重量減少最多，因以其所釋出的離子最多；而由高溫處理溫度比較，經過 700°C 處理的不鏽鋼在 15 分鐘電解內的重量減少最多，因以其所釋出的離子最多。由此實驗可反向證明，釋出的離子越多，代表其保護層氧化鉻越無法保護內部金屬，易生鏽，也由此證明 700°C 對不鏽鋼氧化鉻的破壞程度最大。
- 四、 由電阻試驗可知，經過處理的溫度越高則電阻愈大，是因為當不鏽鋼在高溫處理後表面的氧化鉻被破壞，內部金屬產生較緻密的氧化層，從平滑變粗糙。
- 五、 由接觸角試驗可知，經過愈高溫度處理後的不鏽鋼，其表面與水滴的接觸角越小，代表其表面的單位面積顆粒數越多，氧化鉻被破壞的越嚴重，內部金屬產生較緻密的氧化層。由此可證明溫度會造成不鏽鋼表面變化，而破壞氧化鉻，形成氧化層。
- 六、 在草酸除鏽試驗中，由各高溫處理後的不鏽鋼比較，經過 700°C 處理的不鏽鋼所減少的重量最多，而在各種類的不鏽鋼中，SUS 430 所減少的重量最多，由此試驗可知，除鏽前後重量差越多，代表其越易生鏽，因此證明由種類比較，SUS 430 抗鏽能力最差；由高溫處理溫度比較，經過 700°C 處理的不鏽鋼抗鏽能力最差。
- 七、 由 SEM 掃描式電子顯微鏡的照片中，比較不鏽鋼的表面變化與鋁的表面變化可知，不鏽鋼的氧化層易受溫度影響而改變，當溫度越高，其表面的氧化層也越緻密；但鋁的氧化層比較不會受到溫度的影響，而改變其表面狀態。

捌、參考資料及其他

- 〔1〕 黃得時·基礎化學(一)·龍騰文化·三版·第二章 原子構造與元素週期表
2-3 元素性質的規律性及元素週期表·民 103 年 6 月。
- 〔2〕 陳瑞凱、詹益愷·不鏽鋼種類與材質磁性的關係·國立清華大學材料科學工程
學系、國立清華大學奈微與材料科技中心·2014 年 7 月取自
<http://www.fda.gov.tw/upload/133/2014071412092782178.pdf>
- 〔3〕 葉名倉選·修化學(上)·南一書局企業股份有限公司·初版·第五章 氧化還原
反應 5-4 電解與電鍍·民 103 年 3 月。
- 〔4〕 黃得時·基礎化學(二)·龍騰文化·三版·第一章 常見的化學反應 1-5 氧化還
原反應·民 104 年 6 月。
- 〔5〕 朱榮聰、王憲明·304 型不鏽鋼零件與敏化之關係·遠東學報第二十二卷第一
期·民 94 年 3 月取自
<http://www.feu.edu.tw/adms/aao/aao95/jfeu/22/220109.pdf>
- 〔6〕 林文·淺談不鏽鋼種類、磁性與安全性·民 103 年 7 月 14 日取自
<http://www.fda.gov.tw/upload/133/2014071412081218875.pdf>
- 〔7〕 朱榮聰、王憲明(民 94)·304 型不鏽鋼零件與敏化之關係·遠東學報第二十二卷
第一期 取自
<http://www.feu.edu.tw/adms/aao/aao95/jfeu/22/220109.pdf>
- 〔8〕 李勝隆(2014)·熱處理：金屬材料與應用·全華圖書·民 103 年 9 月 5 日。
- 〔9〕 黃振賢·金屬熱處理·第十八版·新文京出版社·民 91 年 7 月 1 日。
- 〔10〕 蔡明欽(譯)(2004)·鋼-顯微組織與性質(原作者：R.W.K. Honeycombe & H.K.D.H.
Bhandeshia)·臺北市·南五圖書出版有限公司·民 93 年 12 月 1 日。
- 〔11〕 曹楚南·悄悄進行的破壞－金屬腐蝕·牛頓出版公司·民 90 年 5 月 1 日。
- 〔12〕 林瑋隆、李頂立(2007)·表面粗糙結構對疏水性影響之應用與研究·臺灣 2007
年國際科學展覽會。

【評語】 052403

藉由改變溫度、酸性溶液、電解處理、及草酸除鏽等方式，探究鋁與三種不鏽鋼（SUS304、SUS316、和 SUS430）的生鏽差異。歸納出在何種情況下生鏽速度最快（SUS430）及何者抗鏽能力最佳（SUS304）。本作品實驗結果附圖片佐證，材料性質比較表之描述清楚。宜凸顯本研究結論與文獻報導之不同處。

作品海報

壹、摘要

不鏽鋼是會生鏽的。它之所以能在一般情況下不生鏽，是因為含有不易生鏽的成分，如鎳與鉻。根據高一所學：鋁的表面氧化層可防止其內部繼續氧化，故我們希望比較其與不鏽鋼的差異。首先取用市面上最常見的三種不鏽鋼：SUS 304、SUS 316和SUS 430，進行分項實驗。第一項為觀察不鏽鋼加熱至不同溫度時的顏色變化；接著依據我們的推測：不鏽鋼表面也有氧化層保護內部，於是設計各種抗氧化試驗並藉物理方法檢測其表面的粗糙度。再來試將其進行生鏽反應，生鏽反應主要肇因於水和氧，而酸液與食鹽又將加劇反應。先將調配後的溶液噴灑在不鏽鋼上遂放置於室溫中，再觀察其變化。由於不鏽鋼表面會產生褐色鐵鏽，因此最後再利用草酸將鏽去除，並觀察其重量變化。

貳、研究動機

不鏽鋼是日常生活中人們偏好使用的金屬材料，由於大眾普遍認定不鏽鋼有「不鏽」的特性，能夠抵抗環境腐蝕，因此不鏽鋼已廣泛運用在廚具或醫藥器材上，甚至連工業機械也不可或缺。但某次，我們將裝了檸檬水的保溫杯放了一個晚上沒有洗，隔日早上，發現保溫杯內層有接觸到液體的表面有些許的顏色改變。

在查詢資料的過程中，查閱到不鏽鋼擁有良好的耐蝕性，但在一定的條件下依然會生鏽，因此我們繼續延伸此方向，在高一的課程中，我們學過各種金屬的特性，其中有一項是關於氧化層的緻密性。例如鋅、鋁金屬的緻密氧化層，緻密氧化層能夠保護金屬內部不再繼續受到氧化，此項鋁金屬特性幾乎人盡皆知。而我們常使用的不鏽鋼比其他金屬不易被氧化，由此我們設想不鏽鋼和鋁一樣也會有類似氧化層的物質，防止其生鏽。

參、研究目的

- 一. 探討不同溫度對不鏽鋼與鋁片的影響
- 二. 探討不同溫度對不鏽鋼與鋁片在鹽酸溶液中的影響
- 三. 探討不同種類的不鏽鋼在不同溫度熱處理下以電解測試其重量變化
- 四. 探討不同溫度下表面結構對電阻的影響
- 五. 探討不同溫度下表面結構對接觸角的影響
- 六. 探討不同種類的不鏽鋼在不同溫度熱處理下以草酸除鏽的重量變化

肆、研究過程或方法

一、高溫氧化試驗



PORA高溫爐

將不鏽鋼加熱至300 °C、500 °C、700 °C、900 °C

敏化現象

在480°C至860°C會產生敏化現象，已經被固溶處理的奧氏體不鏽鋼內部的鉻會以碳化鉻的形式從固體內析出，造成不鏽鋼表面有晶界腐蝕敏感性。元素鉻具有抗腐蝕性，但因為敏化現象使抗腐蝕性降低，因此在此溫度範圍內不鏽鋼會比較容易被腐蝕。

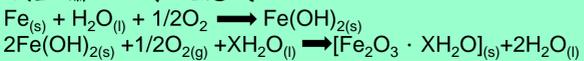
二、生鏽試驗



生鏽試驗示意圖

不鏽鋼主要成分為鐵，而鐵易生鏽，且噴酸能加快反應

鐵生鏽之化學反應式

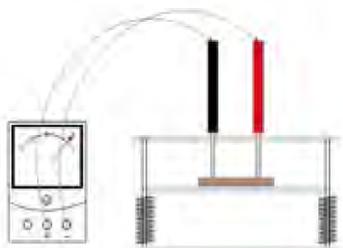


四、電阻試驗

使用三用電表測量電阻大小



自製電阻架



自製電阻架示意圖

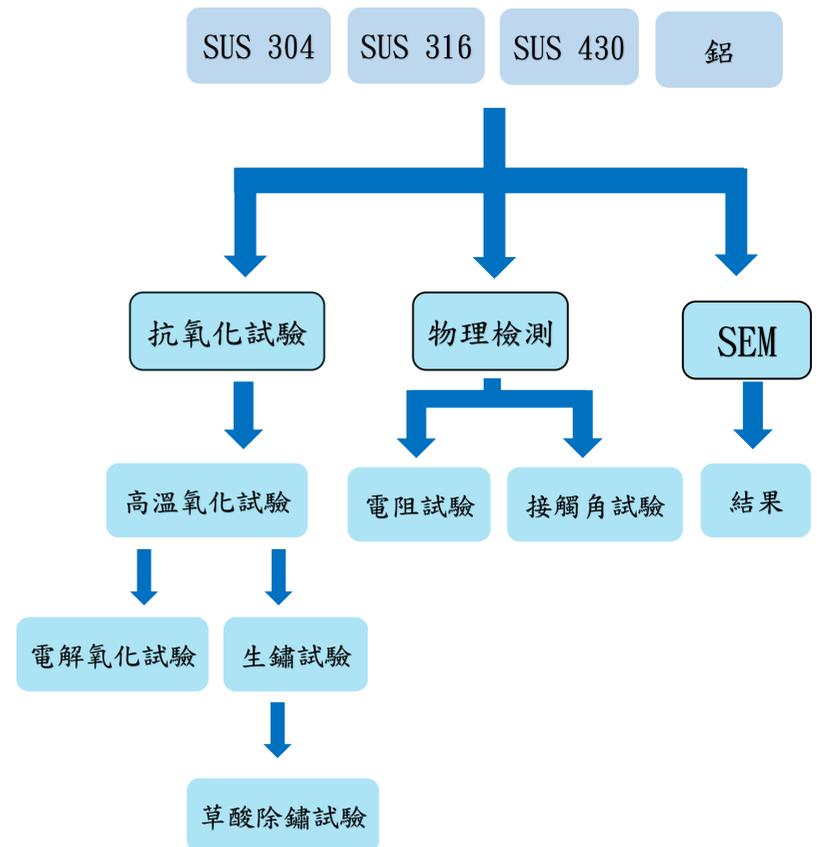
六、草酸除鏽試驗



超音波清洗機



超音波草酸除鏽

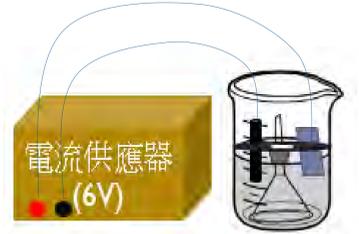


三、電解氧化試驗

使用硫酸水溶液電解，將碳棒放置陰極、不鏽鋼放置陽極



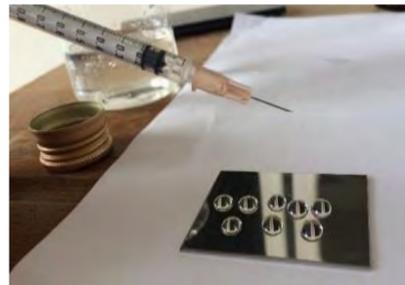
電流供應器與電解材料



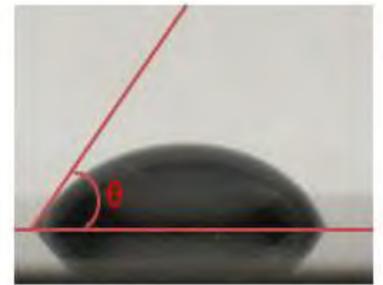
電流供應器與電解材料示意圖

五、接觸角試驗

使用注射器注射定量水滴，測量水滴側邊與表面的角度θ角



接觸角試驗



接觸角度測量

生鏽後的不鏽鋼放入超音波清洗機用草酸酸洗

空穴效應

當強烈的高音波照射或高速的流體摩擦，液體會產生空穴崩潰形成高溫、高壓、放電、發光或激震波等作用。而我們使用的超音波清洗機是利用超音波振動使液體瞬間產生高壓與低壓，而在液體中形成空洞，使溶於液體的氣體成為氣泡，其氣泡被高壓消滅時，會以強大的衝擊波衝擊附著於固體上方的污垢。

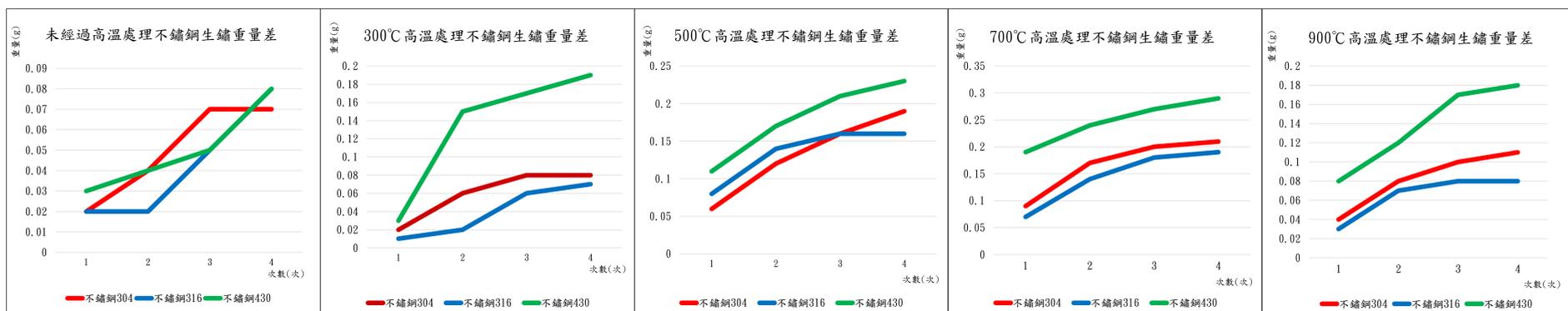
伍、研究結果與結論

一、高溫氧化試驗

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	Al		SUS 304	SUS 316	SUS 430	Al
300 °C					500 °C				
700 °C					900 °C				

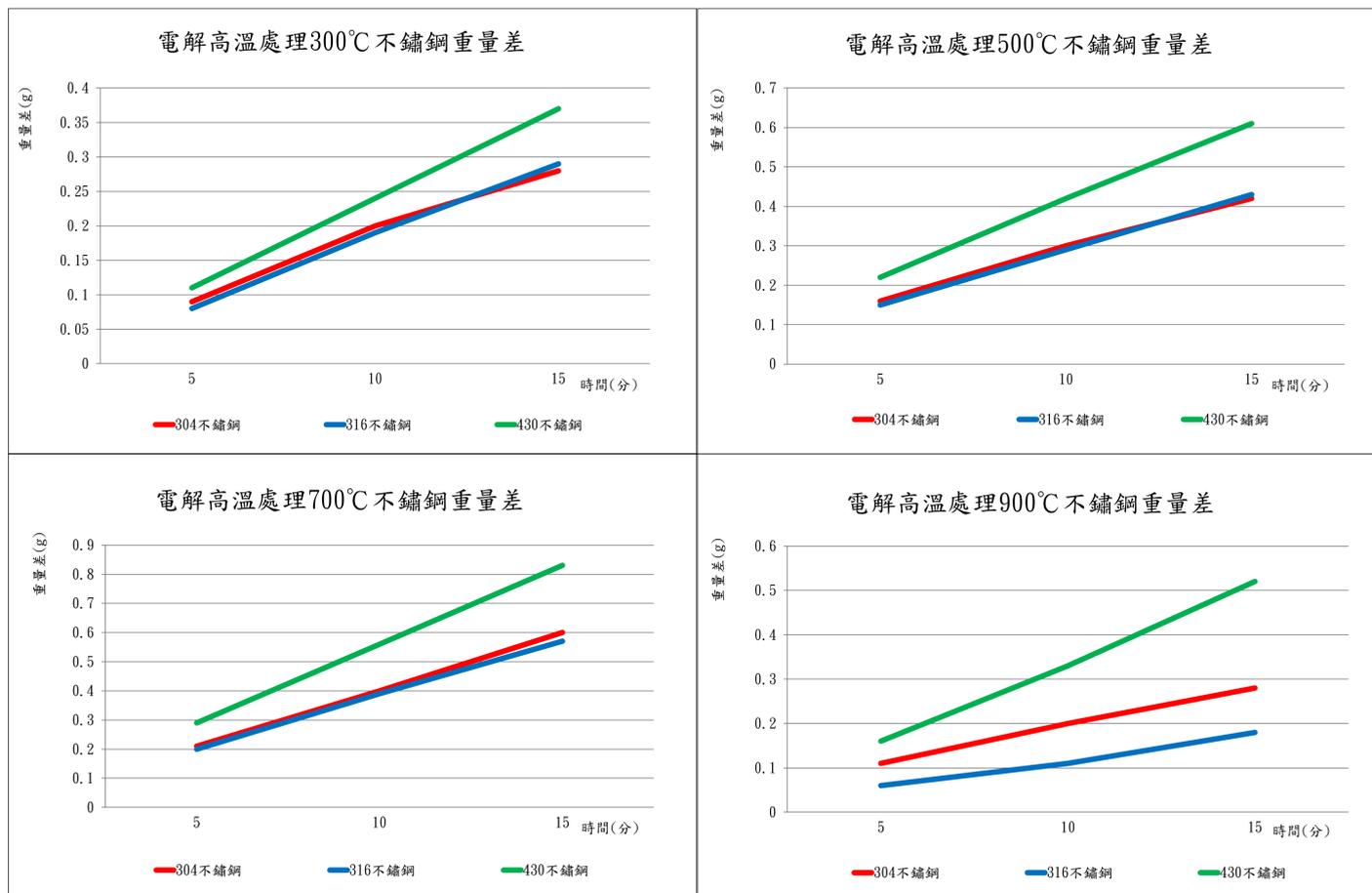
由**高溫氧化試驗**可知，加熱至300°C的不鏽鋼表面與未加熱相似，重量也沒有明顯地變化，而表面為光滑觸感與未加熱相似；加熱至500°C的不鏽鋼表面顏色明顯地變化，SUS 304、SUS 316呈現深粉紅，SUS 430則是藍色且有紋路，而表面為光滑觸感；加熱至700°C的不鏽鋼顏色發生變化，皆呈現大面積的淡咖啡色，且表面產生鐵鏽，由此推論溫度也是使不鏽鋼加速生鏽的因素之一；加熱至900°C的不鏽鋼顏色明顯變深呈現深咖啡色，推估有可能是碳析出，而表面為完全粗糙。

二、生鏽試驗



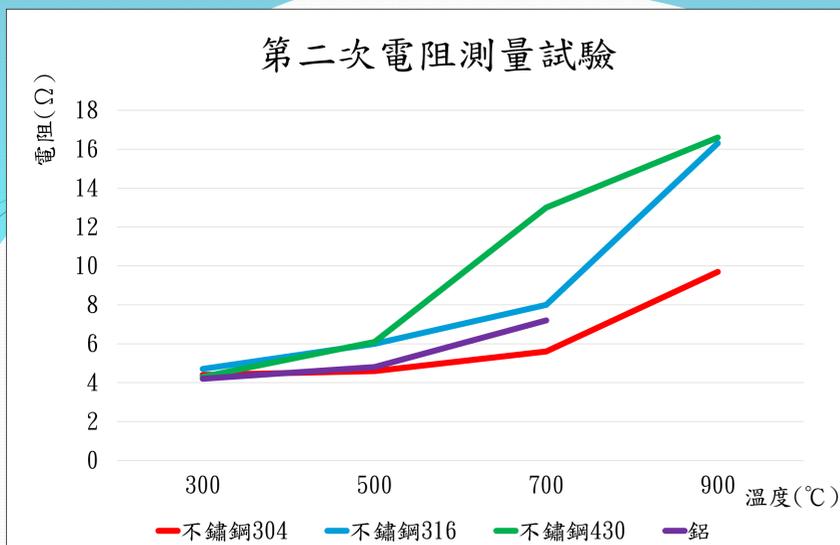
由**生鏽試驗**可知，由重量方面觀察，經過高溫處理後的不鏽鋼中，經過700°C處理的不鏽鋼所增加的重量最多，而在各種類的不鏽鋼中，SUS 430所增加的重量最多。因為SUS 430不含鎳元素，所以最容易生鏽，而經過700°C處理的不鏽鋼在敏化現象中為最高溫，所以被破壞程度最大，最易生鏽；由表變化觀察，由種類比較，皆可得知SUS 430表面變化最快速，最容易長鏽，而由高溫處理溫度比較，經過700°C處理的不鏽鋼表面變化最快速，最容易長鏽。

三、電解氧化試驗



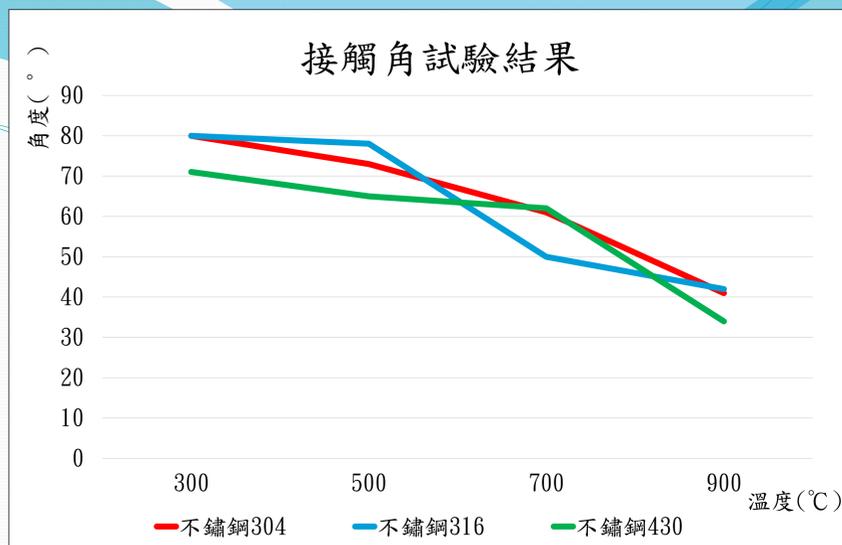
在**電解氧化試驗**中，由種類比較，不鏽鋼430在15分鐘電解內的重量減少最多，因以其所釋出的離子最多；而由高溫處理溫度比較，經過700°C處理的不鏽鋼在15分鐘電解內的重量減少最多，因以其所釋出的離子最多。由此實驗可反向證明，釋出的離子越多，代表產生的保護層氧化鉻越少，越無法保護內部金屬，因此，最容易生鏽。

四、電阻試驗



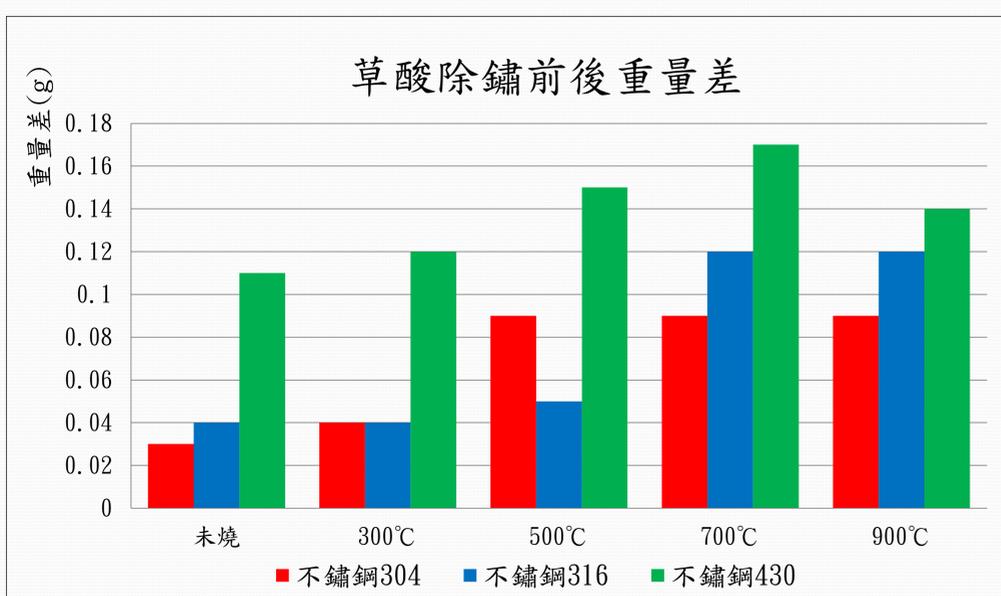
由**電阻試驗**可知，經過處理的溫度越高則電阻愈大，是因為當不鏽鋼在高溫處理後表面發生改變，產生緻密的氧化層，而氧化層越緻密，則電阻越大，導致電阻測量的改變。

五、接觸角試驗



由**接觸角試驗**可知，當經過愈高溫度處理後的不鏽鋼，其表面與水滴的接觸角越小，代表其表面的顆粒大小越小，也越緻密。由此可證明溫度會造成不鏽鋼表面變化，而產生緻密層。

六、草酸除鏽試驗



在**草酸除鏽試驗**中，各高溫處理後的不鏽鋼中，經過700°C處理的不鏽鋼所減少的重量最多，而在各種類的不鏽鋼中，SUS 430所減少的重量最多，由此試驗可知，除鏽前後重量差越大，代表其越容易鏽，因此證明由種類比較，SUS 430抗鏽能力最差；由高溫處理的溫度比較，經過700°C處理的不鏽鋼抗鏽能力最差。

七、SEM掃描式電子顯微鏡

	SUS 304	SUS 316	SUS 430	鋁
未處理				
300°C				
500°C				
700°C				
900°C				

由**SEM掃描式電子顯微鏡**的照片中，可清楚地看到不鏽鋼的氧化層與金屬鋁的氧化層不同，金屬鋁的氧化層則較平滑，不鏽鋼的氧化層呈現一粒一粒凸起狀，由種類觀察，四系列與三系列明顯呈現不同的表面，三系列為塊狀的氧化層，則四系列較平滑，而溫度越高形成的氧化層顆粒愈多也越細，得以證明實驗四與實驗五的結論。

陸、未來展望

不鏽鋼相較於其他金屬材料確實具有許多優點，抗腐蝕性強、表面光亮、易清洗、易加工、機械性佳、可回收，被廣泛利用於我們的生活中，例如：餐具、日用品、交通工具、建築物等……。可是不鏽鋼真的安全嗎？或許只是因對其了解不足而被蒙蔽，大眾應該先學習不鏽鋼的基本知識，以及打破不鏽鋼並非完全不會生鏽的迷思。前一陣子爆發的不鏽鋼餐具因添加錳元素過量，而危害人體，雖說含較多錳的二系列不鏽鋼已被禁止使用在食品用具上，但除了錳元素，其他元素都是安全嗎？這是我們還需繼續研究及發展的重要議題。