

한 電算 프로그램의 開發", 船舶機關學會誌, 第 11卷, 3號,  
pp 53-60 (1987)

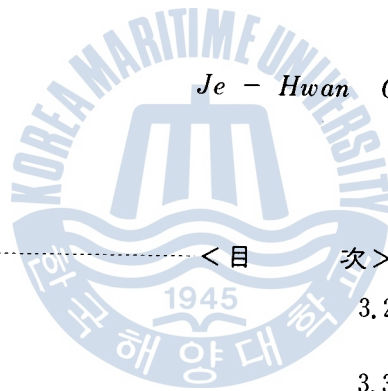
- 15) 金春植, 宋江燮, "流體力學", 亞成出版社 (1977)
- 16) 金京根, "氣液二相流", 太和出版社 (1986)
- 17) 金京根, "傳熱工學 講義錄", pp 69-91 (1988)
- 18) 成煥泰, 鄭然輝, "KS基準機械製圖", 螢雪出版社 (1979)
- 19) Cunningham, R.G., and Dopkin, R.J., "Jet Breakup and Mixing Throat Lengths for the Liquid-Jet Gas Pump", Journal of Fluids Engineering, Trans. ASME, Series 1, Vol.94, No.3 (1974)
- 20) Cunningham, R.G., "Gas Compression with the Liquid Jet Pump", Journal of Fluids Engineering, Trans. ASME, Series 1, Vol.96, No.3, pp 203-215 (1974)
- 21) Hermann, Schlichting., "Boundary Layer Theory", McGrawHill, Inc. pp 626-629 (1979)
- 22) 日本機械學會, "流體의 物性值集" (1986)
- 23) 朴伊東, "流體力學", 善成文化社, pp 453-460 (1979)

# 아크 용射法에 의한 鋼材表面에의 ALUMINUM浸透에 關한 研究

A STUDY ON THE ALUMINUM CEMENTION TO STEEL SURFACE USING THE ARC-SPARY METHOD

吳 載 換

*Je - Hwan Oh*



< 目 次 >

Abstract

1. 序 論

2. 實驗方法

2.1 溶射裝置

2.2 溶射材 및 試驗片

2.3 熱處理 條件 및 被膜特性 調查 方法

3. 實驗結果 및 考察

3.1 鋼素材와 AL溶射被膜 境界面에 서의 擴散浸透層 形成 및 成長 舉動

3.2 鋼素材와 AL溶射被膜 境界層에 서의 元素擴散舉動

3.3 擴散浸透層의 組織 및 成分

3.4 擴散浸透層의 機械的 特性

3.4.1 硬度分布

3.4.2 耐磨滅(Erosion) 特性

3.4.3 反覆熱싸이클에 의한 擴散 浸透層에서의 特性變化

4. 結 論

附 錄

參考文獻

## A Study on the Aluminium Cementation to Steel Surface using the Arc - spray Method

Jae - Hwan, Oh

Dept. of Marine Mechanical Engineering, Graduate  
School Korea Maritime University

### Abstract

The metal arc spraying is one of the most useful surface treatment technique in which a spraying material of excellent properties is heated to the molten state by electric arc and then sprayed by carrier gas in atomized form onto a prepared substrate.

However, it is pointed out in this metal arc spraying method that the erosion properties of the sprayed components are insufficient because of the low adhesive strength between the coating film and the substrate when it is used in the severe environment such as corrosion, high temperature and friction environment.

In the other hand, metal cementation such as sheradizing, alitierung or chromizing is adequate for making the coated layer of the superior properties onto the substrate while its process is very complicate.

In this study, the experiments were carried out for the purpose of establishment of Aluminium cementation to steel surface by diffusible heat treatment after making the coated film onto the substrate by arc spray method.

Also, the microstructure and mechanical properties of the cementation layer produced by this study were inspected for various heat treatment and spraying conditions.

Main results obtained are as follows;

1. The coating film characteristics which have excellent erosion-resistance, high temperature oxidation-resistance are obtained by Aluminium penetration heat treatment after making the sprayed Aluminum coating film onto the steel substrate.

2. Aluminium diffusion penetration takes place at higher temperature than  $660^{\circ}\text{C}$ , and the more heat treatment time and the higher heat treatment temperature adopted, the deeper diffusion layer obtained.
3. Inert gas arc spraying using Argon gas as the carrier gas has higher improvement of mechanical property than that of compressed Air environment.
4. The coating film characteristics appeared to be improvement of adhesive property, porosity plugging effect by heat treatment in Air environment.



## 1. 序論

機械部材의 苛酷한 使用環境과 더불어, 適當한 機械的 強度를 지니는 한편 耐熱, 耐蝕, 耐磨耗性 등의 多様한 性能을 지니는 優秀한 材料의 開發이 要請되고 있다. 이러한 要請에 副應하여 素材의 表面에 優秀한 性能을 가지는 材料를 被覆하는 技術의 하나로서 溶射法이 脚光을 받고 있다. 溶射法은 材料를 溶融하는 熱源에 따라 分類할 수가 있는데, 그 중에서 電氣아크를 利用한 아크溶射法은 操作이 簡便하고 費用이 低廉하여 널리 利用되고 있다. 그러나 아크溶射는 被膜을 形成하는 粒子和 粒子사이의 密着特性이 低下하여 腐蝕霧圍氣나 高溫霧圍氣, 摩擦霧圍氣 등에서 溶射部品을 使用할때 耐磨滅(Erosion)抵抗性이 低下하여 耐久性이 떨어지는 것이 큰 問題點으로 남아있다. 이러한 問題點을 解決하기 위해서는 溶射粒子和 粒子사이 또는 被膜과 素材金屬 사이의 密着強度를 向上시키는 技術이 確立되어야 한다.<sup>1~16)</sup>

한편, 金屬浸透法(Metal cementation)은 金屬粉末속에서 表面處理하고자 하는 素材를 넣고 擴散, 浸透 熱處理를 행함으로서 耐蝕性, 耐高溫酸化性, 硬度, 耐磨耗性 등의 向上을 도모할 수 있다.<sup>17)</sup> 본 研究에서는 溶射法에 의해 Aluminium을 被覆한 후, 熱處理를 행하여 鋼材表面으로부터 內部로 AL를 浸透시키는 所謂 溶射法에 의한 Aluminium金屬浸透法을 確立하고자 한다.

또한 AL을 金屬表面으로 아크溶射할 때 Carrier Gas로서 壓縮空氣를 利用하였을 때와 不活性 가스인 Argon Gas를 利用하였을 때 熱處理 擴散 浸透層의 特性에 미치는 Carrier Gas의 영향에 대해서도 考察하였다.

## 2. 實驗方法

### 2.1 溶射裝置

이 實驗에 使用한 溶射裝置는 定電壓 特性의 直流式 아크溶射 裝置로서 그 概要는 Fig.1과 같다.

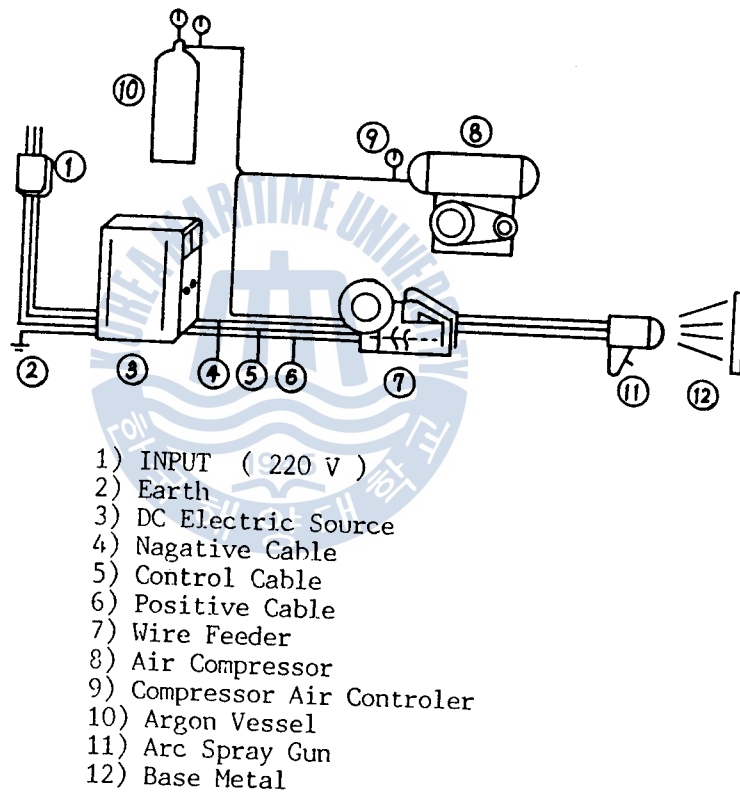


Fig. 1 Schematic diagram of the arc spraying.

電氣的으로 獨立된 두 金屬Wire를 送給裝置의 Roller에 의하여 溶射Gun 안으로 통과시켜 두 金屬Wire의 끝이 溶射Gun 先端部에서 一定한 角度로 마주칠 때, 아크가 發生되어 두 金屬Wire가 溶融하게 되며, 이 瞬間에 Carrier Gas에 의해 母材表面에 溶融金屬을 微粒子로 噴射시켜 소기의 被膜을 얻도록 하였다.

이때 噴射壓力 溶射距里, 溶射電壓 및 溶射電流는 全實驗을 통하여 各各 5kg/cm<sup>2</sup>, 150mm, 25V, 및 110Amp로 一定하게 하였다. 또한 이 研究에서는 溶射霧圍氣를 變化시키기 위하여 Fig.1에 보이는 바와 같이 (8)의 空氣壓縮機와 (12)의 아르곤 容器와의 相互交換이 可能하도록 하였다. 이러한 方法에 의해서 壓縮 空氣와 아르곤 가스를 各各 Carrier Gas로 하여 溶射를 行하였을 境遇의 溶射試驗 片을 製作하였다.

### 2.2 溶射材 및 試驗片

溶射材料(Spraying material)로서 99.5%以上の 高純度 Aluminium Wire를 使用하였고, 素材(Substrate)로서는 一般 軟鋼板인 SS41鋼材를 使用하였다. 試驗片은 準備된 鋼板으로부터 Fig.2와 같은 形象으로 切取해서 加工하였다.

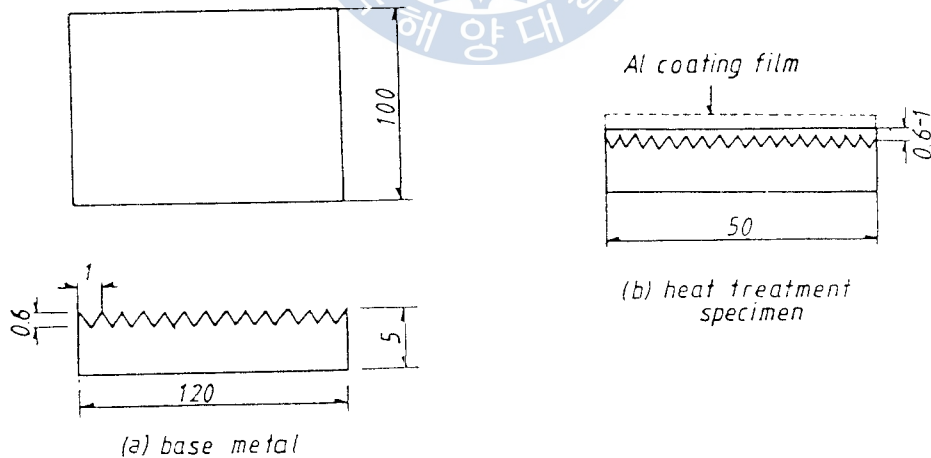


Fig.2. Shape of base metal and heat treatment specimen

Fig2. (a)는 母材로서 軟鋼板을 5 x 100x120mm되게 機械加工한 後 세이퍼 加工으로 表面을 粗面化 하였고, 表面을 粗面化한 後 벤젠에 24時間 浸漬시켜 機械加工과 세이퍼 加工時 附着된 유지류, 먼지等を 脫脂하고 10分 以內에 充分히 乾燥시켜 4패스(pass)로 溶射를 一定하게 實施한 後, Fig2(b)와 같은 形象의 浸透熱處理 試驗片을 採取하였다.

### 2.3 熱處理 方法 및 被膜特性 調查方法

熱處理에는 最大加熱溫度 1100 °C의 加熱爐를 使用하였고 試驗片은 加熱爐의 中央에 오도록 維持시켰다. 이와같이 試驗片을 爐內에 넣은 後 大氣雰圍氣에서 Table.1과 같은 여러가지 條件으로 熱處理을 實施하여 AL과 Fe의 擴散層의 形成과 浸透舉動을 調查하였다. 여기에서 熱處理 條件은 素材인 鋼의 A<sub>1</sub>變態點과 被膜層인 AL의 溶融點을 考慮하여 決定하였다.

이 熱處理는 各 溫度에서 AL被膜層에 1kg/cm<sup>2</sup>의 均一한 壓力을 加한 狀態에서 行하였다.

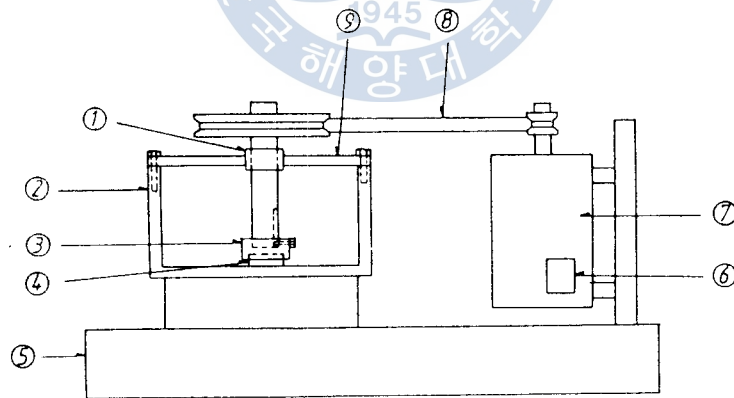
Table. 1 Heat treatment condition for experiment

Condition Specimen No.	Carrier Gas in Arc Spray	Temperature ( °C )	Hour (h)
1	Compressed Air	As sprayed	
2		600	4
3		800	0.5,1.5,4
4	Compressed Ar	As sprayed	
5		600	4
6		660	4
7		700	0.5,1.5,4
8		800	0.5,1.5,2.5,4



熱處理後 各 試驗片에 對해 金屬顯微鏡과 電子顯微鏡(Cambridge社製, Sterescan-100)을 利用하여 AL과 Fe의 擴散浸透層의 生成與否 및 成長率動을 調査하였다. 그리고, EDX(Energy dispersive X-ray microanalyser, Link社製)를 利用하여 擴散浸透層의 元素成分 및 AL과 Fe의 相互 擴散率動을 調査하였다. 또한 Micro-Vickers 硬度試驗器에 의해서 鋼素材 金屬과 AL溶射被膜 境界層에 對해서 硬度를 測定하여 溶射條件과 熱處理 條件에 따른 擴散浸透層의 硬度變化를 定量的으로 調査하였다.

AL浸透層에 對한 耐磨滅(Erosion)特性을 調査하기 위해서 本 研究에서는 Fig.3과 같은 耐磨滅(Erosion)試驗裝置를 考案, 製作하였다. 試驗片은 Fig.3의 (4)와 같이 裝着하여 海水霧圍氣 中에서 試驗片表面에서의 AL浸透層이 海水槽(Chamber)의 밑바닥과 摩擦이 일어나도록 하여, 500rpm으로 24時間동안 回轉시켰다. 이와 같은 試驗後, 試驗片의 무게減量을 調査하여 各 溶射條件 및 熱處理條件에 따른 耐磨滅(Erosion)特性을 調査하였다.



- |                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1) Bearing                  | 6) Motor input switch |
| 2) Sea water chamber        | 7) Motor (AC 110V)    |
| 3) Specimen assembly (400g) | 8) V Volt             |
| 4) Specimen                 | 9) Support bar        |
| 5) Bed                      |                       |

Fig. 3 Schematic diagram of the erosion test apparatus



Photo.6  
Scanning electro-microscope  
photograph of heat treatment  
specimen ( 800°C, 90min,  
1Kg/cm<sup>2</sup> )



Photo.7  
Scanning electro-microscope  
photograph of heat treatment  
specimen ( 800°C, 30min,  
1Kg/cm<sup>2</sup> )



Photo.8  
Scanning electro-microscope  
photograph of heat treatment  
specimen ( 800°C, 4hours,  
1Kg/cm<sup>2</sup> )

Fig.4는 溶射시 Carrier Gas로서 Argon Gas를 利用하여 溶射를 行하고, 800 °C의 溫度, 1kg/cm<sup>2</sup>의 加壓條件下에서 擴散浸透熱處理時 時間에 따른 擴散浸透層의 깊이의 變化를 寫眞解析法으로 調査한 것이다. 이에 의하면 浸透熱處理의 時間에 따라 擴散浸透層의 깊이는 거의 直線的으로 增加하고 있음을 알 수 있다.

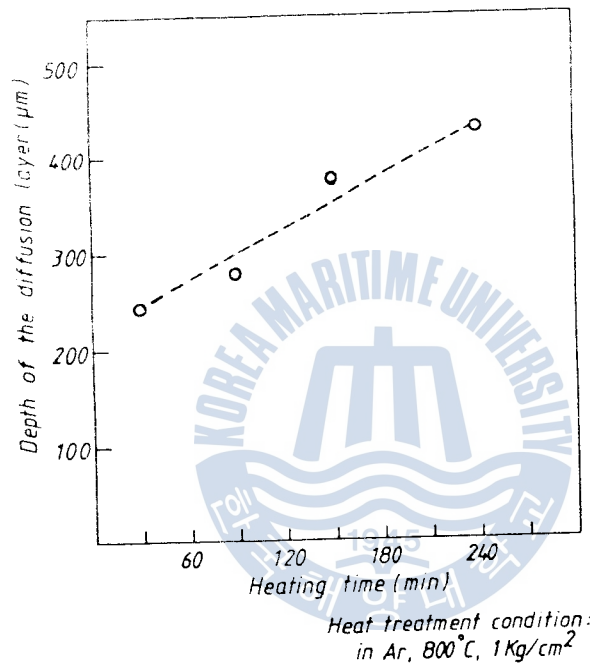


Fig. 4. Variation of the diffusion layer in relation to heating times

以上の 內容을 綜合하면, 鋼素材 表面에 AL을 아크溶射 後 大氣霧圍氣 中에서 熱處理를 行하였을 때, AL溶融點인 660 °C以上에서 擴散浸透層이 形成되며, 이러한 擴散浸透層의 成長舉動은 Fig.5와 같이 模式的으로 나타낼 수 있다. 즉 溶射時 660 °C以上の 熱處理溫度에서 鋼素材와 AL溶射層의 金屬接合이 이루어진 部位로부터 擴散浸透層의 核이 Fig.5(b)와 같이 形成되고 이러한 核은 溫度의 上昇, 時間의 經過와 더불어 (c), (d)와 같이 鋼素材 및 AL溶射被膜層으로 成長 浸透해 들어가게 된다. 이때 鋼素材측으로는 逆쪽한 方向으로 擴散浸透層이 成長하는 것으로 解析된다.

이러한 擴散浸透層의 形成에 있어서, 理論的인 擴散方程式에서 誘導된 擴散浸透層의 形成에 要하는 時間을 計算해 보면 약 3.2時間으로 計算되었다. 이는 實際 實驗時間 4時間과 比較하여 若干의 차이가 있으나 實驗에 作用하는 諸 變數를 考慮하면 거의 一致하는 것을 알 수 있다. 여기서 理論的인 計算過程은 附錄에 記述하였다.

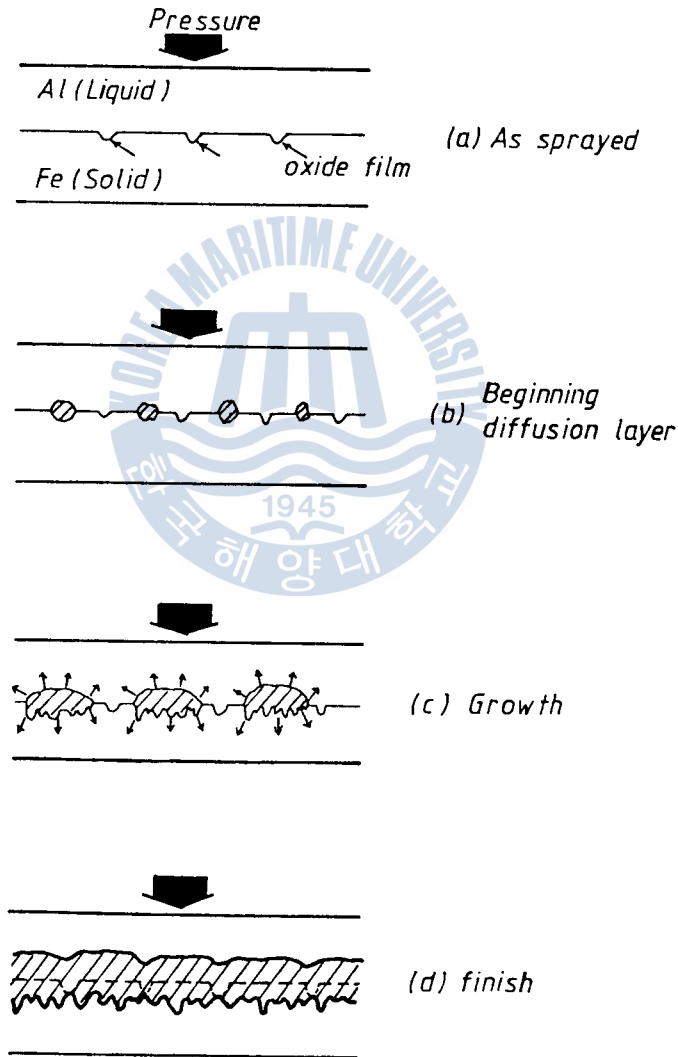


Fig.5. Growth behavior of diffusion layer

### 3.2 鋼素材와 AL溶射被膜層과의 境界層에서의 元素擴散舉動

Fig.6, 7, 8은 溶射시 Carrier Gas로서 壓縮空氣를 利用하여 溶射를 行한 試驗片에 대해, 熱處理條件에 따른 境界層에서의 Fe와 AL의 擴散舉動을 EDX分析에 의해 調査한 結果이다. 여기서 Fig.6은 溶射處理만 行하고 熱處理하기 前의 試驗片에 대한 結果이며, Fig.7, Fig.8은 各各 600 °C 및 800 °에서 4時間 동안 熱處理한 試驗片에 대한 分析 結果이다. 이 結果에 의하면 溶射處理만 하거나 600 °C에서 熱處理한 境遇에는 境界層에서 Fe元素와 AL元素의 相互擴散은 이루어지지 않으며, 800 °C에서 熱處理했을 때 元素의 相互擴散이 이루어지고 있음을 보이고 있다. 이와 같은 結果는 3.1節에서 技術한 擴散浸透舉動과 잘 一致하고 있음을 알 수 있다.

Fig.9는 溶射시 Carrier Gas로서 Argon Gas를 利用하여 溶射를 行하고, 800 °C에서 4時間의 條件으로 熱處理한 試驗片에 대해 EDX分析한 分析 結果이다. 이에 의하면, Fig.8의 壓縮空氣를 利用하여 溶射를 行하고 熱處理를 行한 境遇와 比較하여 元素의 相互擴散舉動의 모양은 類似하게 나타나나, 擴散浸透層의 깊이가 若干 깊게 나타나 있다.

이러한 結果는 Argon Gas로 溶射를 行할 境遇, 壓縮空氣로 溶射를 行한 境遇보다 溶射粒子的 퍼짐성과 密着性이 良好하고 鋼素材와 AL粒子사이의 酸化被膜形成이 적어서 元素의 相互擴散이 圓滑히 일어나기 때문인 것으로 思料된다.<sup>20) 21)</sup>

### 3.3 擴散浸透層의 組織 및 成分

Photo.9는 壓縮空氣를 Carrier Gas로 하여 溶射를 行하고 800 °에서 4時間의 熱處理 條件으로 熱處理를 行하였을 때, 境界層에서 形成된 擴散浸透層의 組織寫眞을 (a)電子顯微鏡 및 (b)金屬顯微鏡으로 觀察한 結果이다.

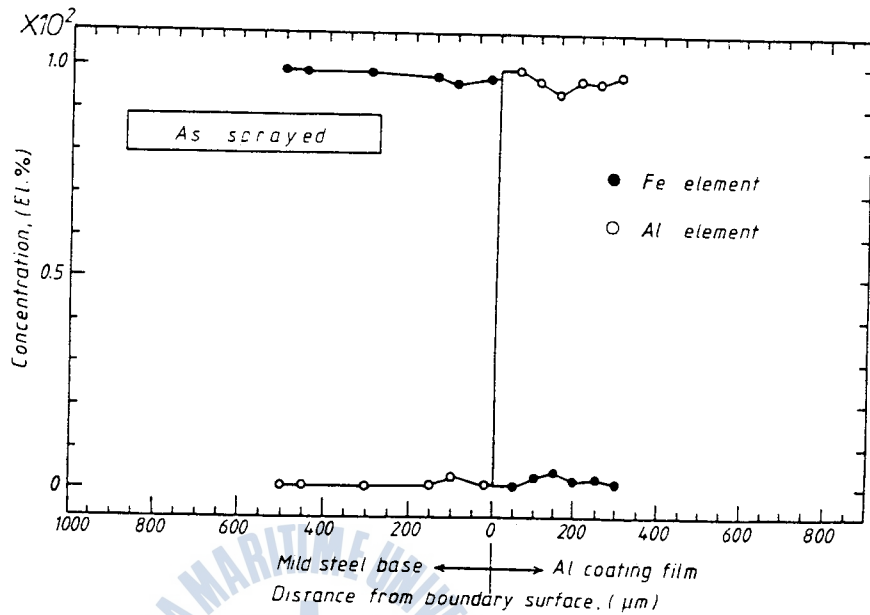


Fig. 6. Diffusion behavior of the element in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Air)

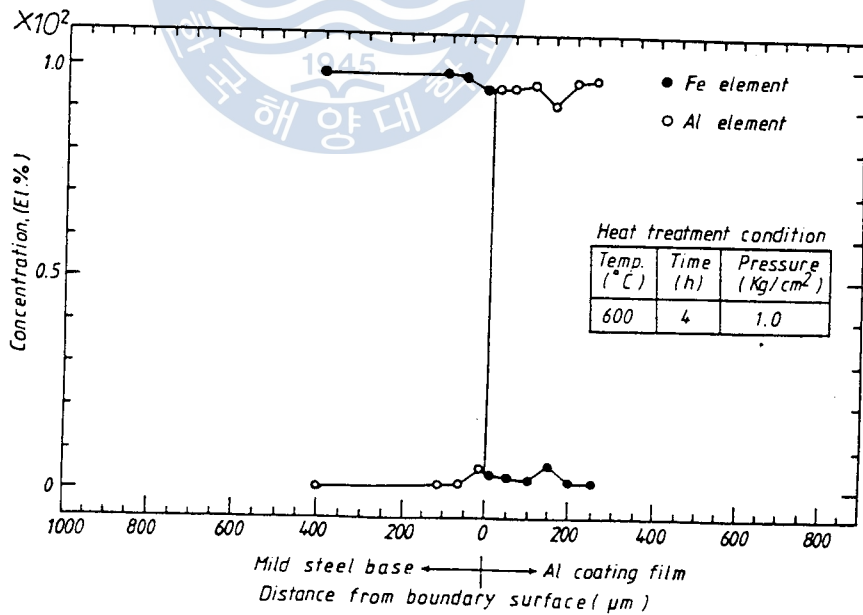


Fig. 7. Diffusion behavior of the elements in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Air)

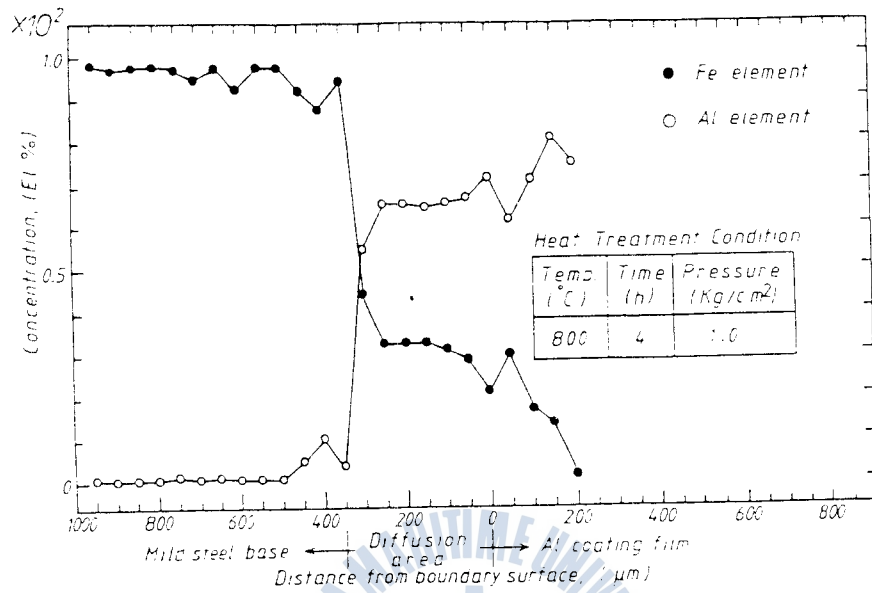


Fig. 8. Diffusion behavior of the elements in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Air)

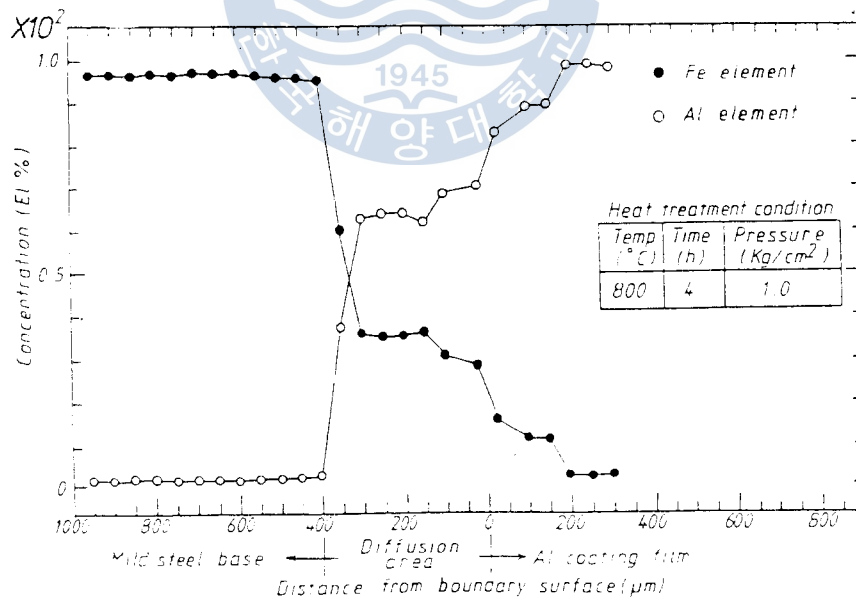
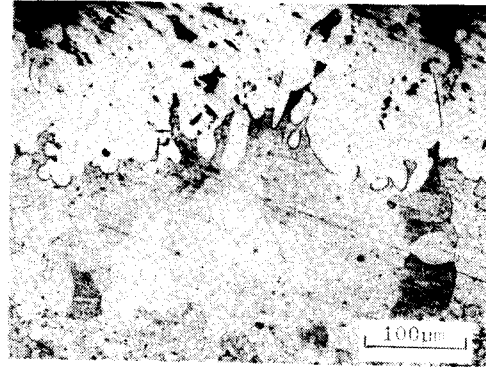


Fig. 9. Diffusion behavior of the element in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Ar gas)



(a) Microstructure of the diffusion layer photographed by S E M



(b) Microstructure of the diffusion layer photographed by metallurgical microscope (X 200)

Photo.9 Microstructure of the diffusion layer

( arc sprayed by compressed Air

800 °C, 4hours, 1Kg/cm<sup>2</sup> )

擴散浸透層은 AL溶射被膜層側으로는 不分明한 境界를 이루고 있으나 鋼素材側으로는 斑狀한 허모양의 組織이 分明한 境界를 이루고 있다. 또한 金屬顯微鏡 組織에 의하면 素材인 鋼의 結晶粒子가 매우 粗大化되어 있으며, 擴散浸透層의 組織은 鋼의 粗大한 結晶粒子 内部로 浸透되고 있음을 보이고 있다. 이러한 擴散浸透層의 成分을 究明하기 위해 擴散浸透層의 中央部에서 100μm 間격으로 AL溶射浸透層 方向과 鋼素材 方向으로 EDX에 의해 Spot分析한 分析Spectrum의 結果가 Fig.10(a), (b), (c)와 같이 나타났다. 이러한 Spectrum의 定量分析結果, 擴散浸透層에서는 元素組成比로 AL이 65-70%, Fe가 30-35%의 比率로 나타났다. 따라서 擴散浸透層의 本質은 FeAl<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, 또는 FeAl<sub>3</sub>로 思料된다. 이러한 AL과Fe의 金屬間化合物의 生成은 Fe-Al係 平衡狀態圖 上에서 다음과 같이 說明될 수 있다.



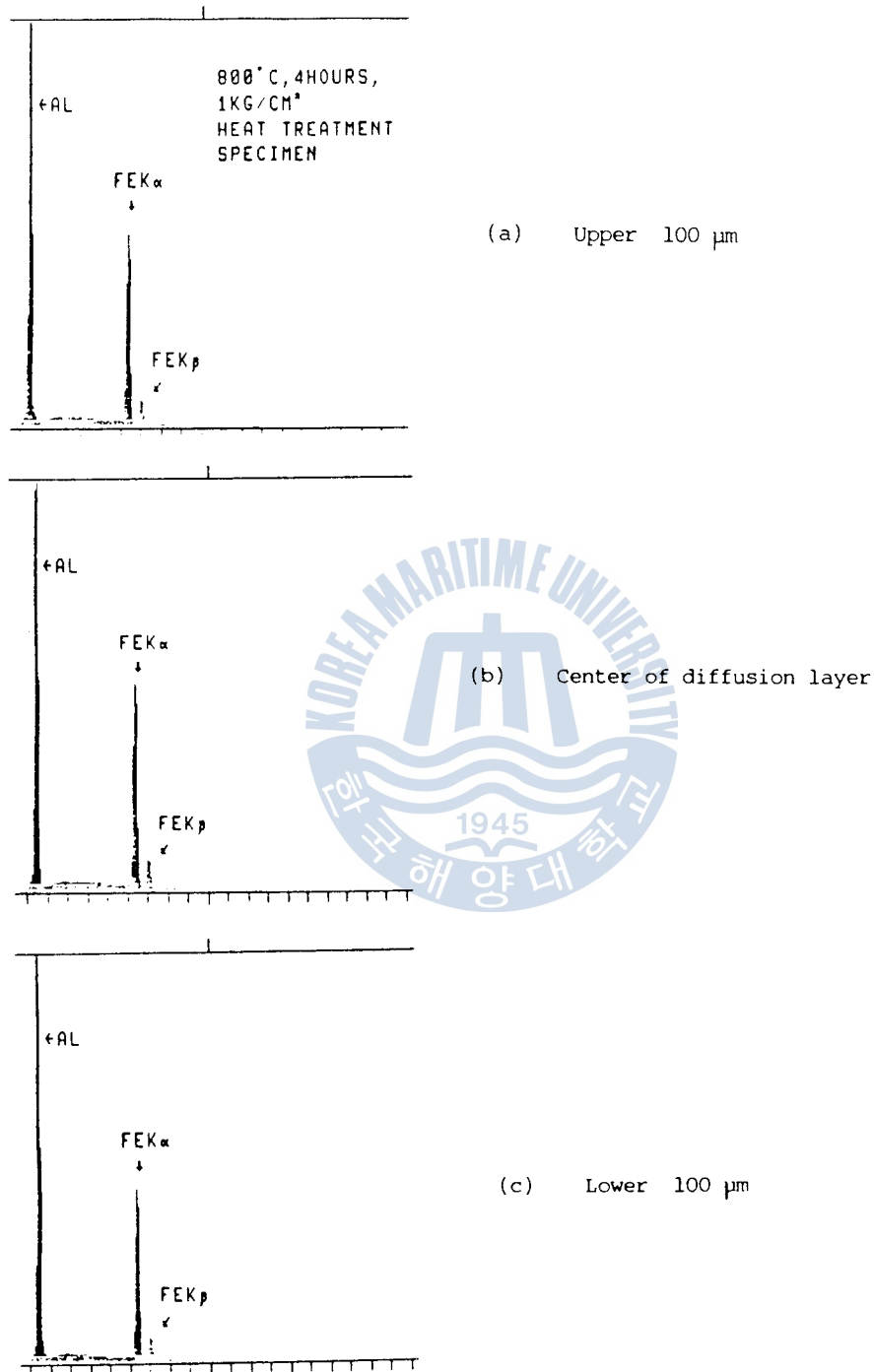


Fig. 10 Analysis spectrum of diffusion layer by E D X

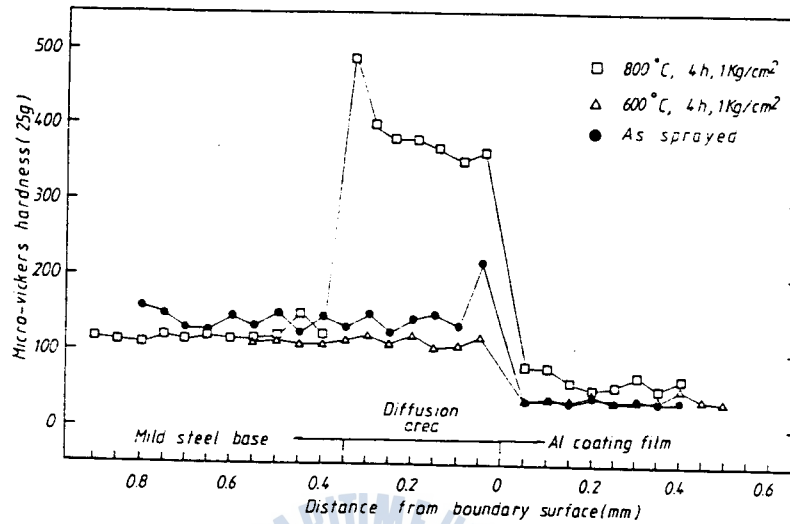


Fig.12. Distribution of micro-Vickers hardness in heat treatment conditions (arc sprayed by compressed Air)

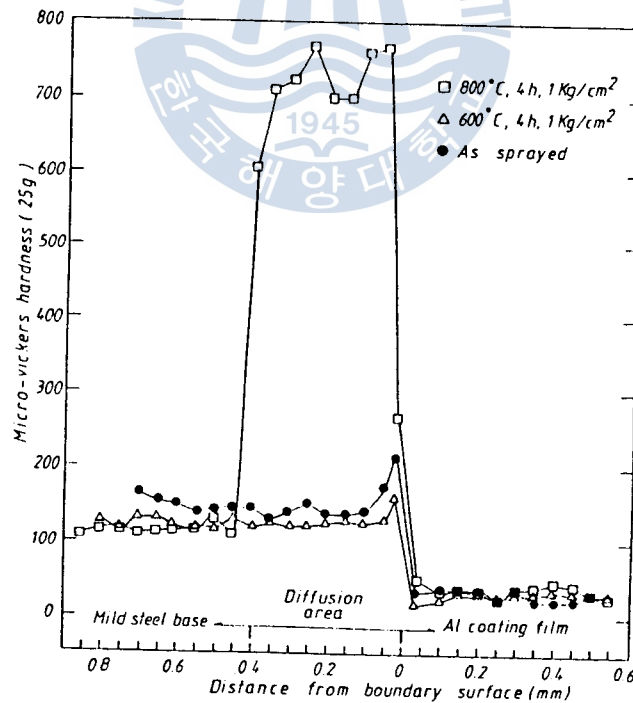


Fig.13. Distribution of micro-Vickers hardness in heat treatment conditions (arc sprayed by compressed Ar gas)

Fig.14는 元素의 相互擴散量과 硬度分布變化의 關係를 調査하기 위하여 700 °C의 熱處理溫度 條件下에서 實驗時間을 變化시켜 가면서 熱處理를 行하여 얻은 硬度값이다. 또, Table.2는 700 °C의 熱處理溫度條件下에서 熱處理한 試驗片에 대해 元素擴散量을 EDX에 의해 定量的으로 分析한 값이다. 이에 의하면 時間의 變化에 따른 元素擴散量의 成分比와 硬度分布는 거의 一定한 것을 알 수 있다.

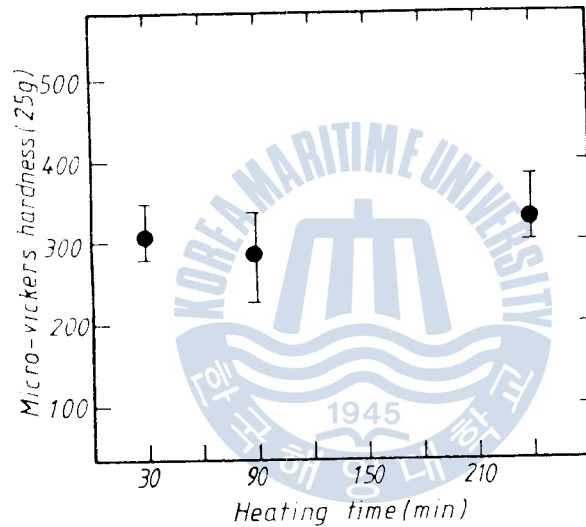


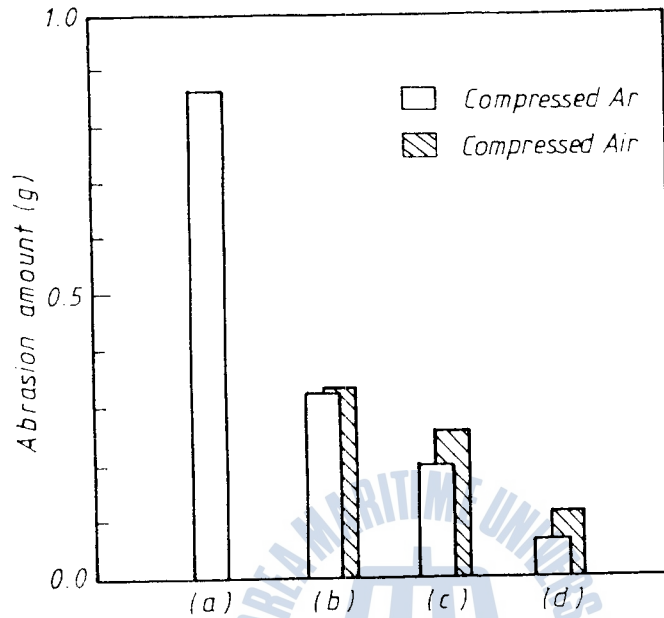
Fig 14 Micro-vickers hardness distribution according to heat treatment time in 700 °C

Table.2 Variation of amount of diffusion element according to each heat treatment time in 700 °C (arc sprayed by compressed Ar gas)

Time	30min	90min	240min
Element(El.%)			
Al	45.7	44.9	42.2
Fe	52.7	53.7	56.4

## 3.4.2 耐磨滅(Erosion)特性

Fig.15는 加壓力  $0.1\text{kg}/\text{cm}^2$ , 回轉數  $600\text{rpm}$ 으로 海水雰圍氣 中에서 耐磨滅(Erosion)試驗한 結果를 나타낸 것이다. Erosion試驗用 試驗片의 AL溶射被膜 은  $0.3\text{mm}$  정도로 均一하게 하였고, 試驗後 摩耗량은  $0.01\text{g}$ 까지 測定 可能한 天秤으로 무게減量을 測定하여 얻은 값이다. 그림에서 (a)는 溶射處理前의 鋼素材이고, (b)는 溶射 後 熱處理前의 試驗片, (c)는 溶射 後  $600^\circ\text{C}$ 에서 4時間의 熱處理를 行한 試驗片, (d)는 溶射 後  $800^\circ\text{C}$ 에서 4時間의 條件으로 熱處理를 行한 試驗片의 結果이다. 試驗片 結果에서 알 수 있는 바와 같이 耐磨滅(Erosion) 抵抗性이 가장良好한 狀態는 (d), (c), (b), (a)의 순으로 나타나 있다. 여기서  $800^\circ\text{C}$  4時間의 熱處理를 行한 境遇가 耐磨滅(Erosion)性에 대한 抵抗性이 가장 큰 것은 앞에서 考察한 바와 같이 元素擴散浸透層에 의한 硬度的 增加때문인 것으로 생각된다. 또  $600^\circ\text{C}$  4時間의 熱處理를 行한 境遇는 熱處理에 의한 封空處理效果 等の 영향으로 溶射 後 熱處理前의 試驗片이나 鋼素材보다 摩耗量이 적은 것으로 생각된다. 鋼素材의 摩耗量이 가장 큰 것은 表面이 직접 接觸 摩耗되고 腐蝕이 발생하여 耐磨滅(Erosion) 抵抗性이 나쁜 것으로 思料된다. 또한 Carrier Gas를 Argon Gas로 溶射를 行한 境遇가 壓縮空氣로 行한 境遇보다 耐磨滅(Erosion) 抵抗性이 良好한 것은 앞서 考察한 바와 같이 鋼素材와 溶射粒子. 粒子와 粒子사이의 퍼짐성, 密着性이 良好하고 酸化被膜形成이 적어서 元素의 相互擴散이 圓滑하여 固溶體 또는 金屬間化合物이 形成되었기 때문인 것으로 思料된다.



Heat treatment conditions of the specimens

- (a) Base metal
- (b) As sprayed specimen
- (c) 600°C, 4hours, 1Kg/cm<sup>2</sup>  
Heat treatment specimen
- (d) 800°C, 4hours, 1Kg/cm<sup>2</sup>  
Heat treatment specimen

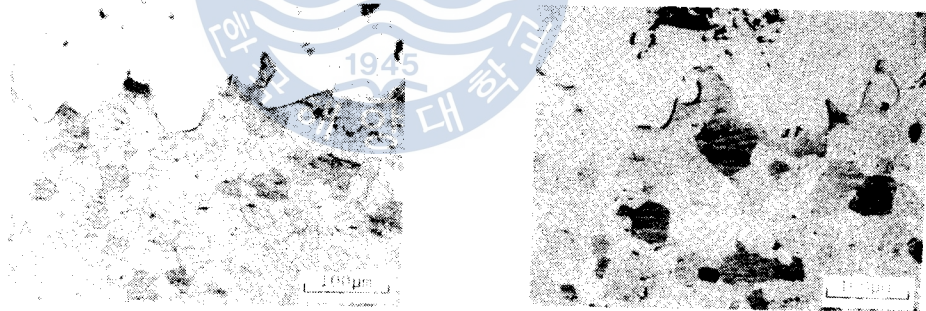
Fig.15 Abrasion amounts at the result of erosion test  
( Pressure; 0.1kg/cm<sup>2</sup>, Time; 24 hours, 600 rpm.  
Sea water )

### 3.4.3 反覆 熱사이클에 의한 擴散浸透層에서의 特性變化

擴散浸透層에 대한 高溫에서의 使用特性을 調査하기 위해, 常溫으로부터 500 °C까지 加熱하여 水冷하는 熱사이클을 反覆하여 附加하였을 때 機械的 및 組織的 特性 變化를 調査하였다.

Photo.10 (a), (b)는 溶射時 Carrier Gas를 Argon Gas로 하여 溶射를 實施하고, 800 °C에서 4時間, 1kg/cm<sup>2</sup>의 條件으로 浸透熱處理를 行한 試驗片에 대해 Fig.16과 같이 500 °C로 加熱後 水冷하는 熱사이클을 反覆하여 40回 만큼 附加하였을 때의 組織變化를 熱사이클 附加前의 組織과 比較하여 나타낸 것이다. 이에 의하면, (a)熱사이클 附加前의 組織과 比較하여 (b)熱사이클을 40回 反覆하여 附加한 後의 狀態는 別다른 組織變化가 나타나지 않았음을 알 수 있고, Fe와 AL의 擴散浸透層과 鋼素材部와의 境界部에서 剝離도 일어나지 않았음을 알 수 있다.

또 Fig.17은 800 °C 4時間의 熱處理만을 實施한 試驗片과 Fig.16과 같은 反覆사이클을 附加한 境遇의 試驗片에 있어서 Fe와 AL의 擴散浸透層과 鋼素材의 熱處理만을 行한 境遇의 硬度값이 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 또 反覆回數를 10回, 20回, 30回, 40回로 變化시켰을 境遇에도 硬度값은 變化하지 않고 거의 비슷한 樣相을 나타내고 있다.



(a) Diffusible heat treatment specimen  
before cyclic heating (X 200 )

(b) Cyclic heating specimen after diffusible  
heat treatment (X 200 )

[ cyclic heating temp. ; 500°C

cyclic heating interval ; 30min

number of cyclic heating ; 40 times ]

Photo.10 Microstructure of diffusible heat treatment specimen  
and cyclic heating specimen

以上과 같은 結果를 綜合하면, 擴散浸透處理만 行한 境遇나 擴散浸透處理後 反覆熱사이클을 附加한 境遇 모두 機械的 特性이나 組織的 特性에 變化가 일어나지 않았다. 이는 擴散浸透層에 대한 高温에서의 使用特性이 反覆되는 熱變形을 받는 곳에서도 元素의 良好한 特性을 維持하면서 使用이 可能하다는 것을 立證한 것이다.

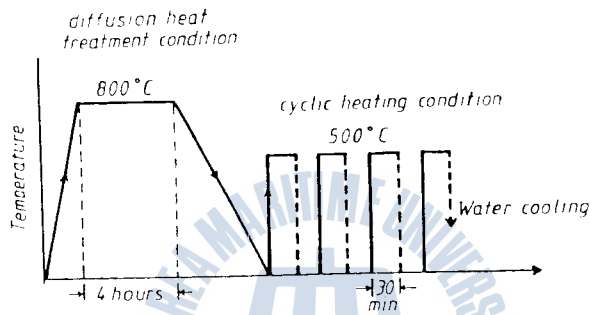


Fig.16. Schematic diagram of cyclic heating condition

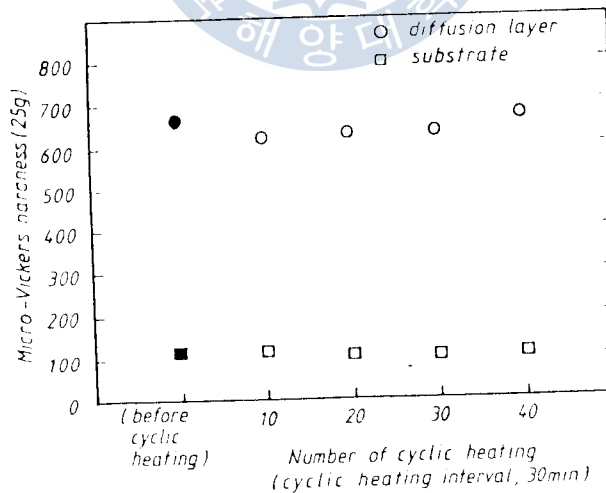


Fig 17. Distribution of micro-Vickers hardness at diffusion layer and substrate by cyclic heating

#### 4. 결론

鋼素材表面에 高純度Aluminium Wire를 利用하여 아크溶射를 行하고 이것을 各種 熱處理條件에서 浸透熱處理를 行한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 溶射處理後 AL溶射被膜의 AL擴散浸透熱處理에 의해 탁월한 耐磨滅(Erosion), 耐高溫酸化性의 表面特性을 갖는 被膜을 形成 시킬 수 있다.

(2) AL의 擴散浸透는 660 °C 以上에서 일어나며 熱處理時間이 길어질수록, 熱處理溫度가 높을수록 깊은 擴散層을 形成한다.

(3) Argon Gas를 Carrier Gas로 利用했을 境遇가 壓縮空氣를 利用한 境遇보다 월등히 向上된 機械的特性을 가진다.

(4) 鋼素材와 AL溶射被膜을 空氣중에서 熱處理함으로써 鋼素材와 AL溶射被膜의 密着特性, 封空處理 等の 被膜特性을 向上시킬 수 있다.



○ 附 錄

\* 等温熱處理 過程에서 擴散浸透層의 形成에 要하는 時間의 計算

Fe元素와 AL元素가 擴散 固溶하고, 또 AL元素의 Fe에 대한 擴散係數 D는 濃度에 관계없이 一定하다면 各 元素의 擴散方程式은 Fick의 第2法則에 의하여 다음 (1)式이 成立한다.<sup>25~28)</sup>

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

但 C; 濃度, t; 時間, x; 擴散距離

AL용사被膜의 AL元素의 擴散距離를  $h_0$ , AL의 濃度를  $C_0$ 로 하면, 初期條件은 AL에 대하여

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq h_0; & \quad C = C_0 \\ x > h_0; & \quad C = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$f(x)$ 를 주어진 初期의 濃度라 하면

$$f(x) = C(x, 0) \quad (3)$$

初期條件을 가지고 (1)式을 풀면

$$C(x, t) = C_0 \frac{h_0}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}} \quad (4)$$

을 얻는다.

따라서 等温凝固에 要하는 時間의 計算은, 固液界面의 固相側에 있어서 AL의 固溶限度를  $C_2$ 로 하면

$$C = C_2 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\} \quad (5)$$

또, 固相部에 固溶한 AL의 總量을 M이라 하고, 一次元的으로 求解 보면

$$\begin{aligned} M &= \int_{-\infty}^{\infty} C \, dx = C_2 \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\} dx \\ &= 2C_2 \sqrt{Dt} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ 1 - \operatorname{erf}(y) \right\} dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left( \text{단 } x = 2\sqrt{Dt} y, \quad dx = 2\sqrt{Dt} dy \right) \\
 & = 3.2 C_2 \sqrt{Dt} \\
 & \left( \text{단 } \operatorname{erf}(y) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{y} \cdot e^{-y^2} \right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

等溫凝固가 完了하는 時點에서는

$$M = C_0 h_0 \tag{7}$$

가 되고, 固溶完了까지의 時間  $t_f$ 는 (6)式과 (7)式으로부터

$$\begin{aligned}
 3.2 C_2 \sqrt{Dt_f} &= C_0 h_0 \\
 t_f &= 0.098 \frac{h_0}{D} \left( \frac{C_0}{C_2} \right)^2
 \end{aligned} \tag{8}$$

과 같이 된다.

理論적으로 計算된 (8)式과 본 實驗에 適用된 實驗時間 4時間과 比較해 보면,

본 實驗에 適用된 條件은

$$D = 1.54 \cdot 10 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$C_0 = 99.5 \%$$

$$C_2 = 70 \% \text{ (본 實驗에서 分析된 AL의 固溶限度)}$$

$$h_0 = 0.03 \text{ cm (Carrier Gas가 壓縮空氣인 境遇, 測定된 擴散層의 平均길이)}$$

이들 값을 (8)式에 대입해 보면

$$t_f = 11571.72 \text{ (sec)} = 3.2 \text{ (h)}$$

로 된다.

## 參考文獻

1. 蓮井 淳 ; 溶射工學, 養賢堂, pp. 1~2 (1976)
2. 蓮井 淳 ; 最近の 溶射技術, 材料科學, Vol. 32, No. 11, pp. 19~24 (1984)
3. 内田 ; 材料に 對する 溶射, 材料科學, Vol. 15, No. 1, pp. 29~35 (1978)
4. 前掲書(1) ; pp. 187~194
5. 前掲書(2) ; pp. 29~33
6. TAFE ; TAFE Arc Spray technical data. (1983)
7. 川瀬良一, 莫石正義, 峰久節治 ; アーク 溶射條件と付着力との關係 (アーク 溶射法に關する研究 第一報), 日本熔接學會誌 論文集, Vol. 1, No. 2, pp. 119~124 (1983)
8. 川瀬良一, 莫石正義, 前原健治 ; アーク 溶射法に おける アーク 現象とワイヤ 熔融 (アーク 溶射法に關する 研究 第二報), 日本熔接學會 論文集, Vol. 2, No.2, pp. 280~285 (1984)
9. 石川量大, 関 雅雄 ; 溶射被膜の特性, 日本金屬誌, 12月號, pp. 14~17 (1985)
10. E. Lang ; Coating for high temperature applications, Applied science publishers, pp. 127~129 (1983)
11. AWS ; Resistance and Solid-state welding and Other Joining processes, Welding Hand Book, Vol. 3, Miami, pp. 375~376 (1980)
12. AWS ; Guide for thermal spray operator and equipment qualification , Miami, pp. 78 (1978)
13. 蓮井 淳, 森 垣脩 ; 肉盛 熔接・溶射, 熔接全書 Vol. 15, pp. 127~153 (1978)
14. 関 元治, 石川量大 ; 溶射肉盛の 實際, 熔接技術, Vol. 28, No. 2, pp. 31~36 (1980)
15. 関 石川 ; 溶射技術の適用と問題點, 日本機械學會誌, Vol. 82, No. 724, pp. 270~275 (1979)
16. 福本昌宏, 瀧家透, 岡根功 ; アルミナ・ニッケル 基自溶合金複合溶射被膜の 諸特性に及ぼす 被膜形態及び 強化處理の 影響, 日本熔接學會 論文集, Vol. 6, No. 1, pp. 29~35 (1988)

17. 金屬表面技術協會；金屬表面技術便覽, pp. 1160~1176 (1977)
18. 康熙澤, 呂運寬；最新 金屬表面處理, 東明社, pp. 337~338 (1986)
19. 川瀨良一, 暮石正義；アーク溶射法における熔融金屬溫度 (アーク溶射法に関する研究 第三報), 日本熔接學會論文集, Vol. 2, No. 3, pp. 52~58 (1984)
20. IIW；The physics of welding, pp. 9~36 (1984)
21. 金永植, 余旭鍾；아아크溶射時 不活性가스에 의한 被膜密着強度向上에 관한 研究, 大韓熔接學會誌, Vol. 5, No. 2, pp. 17~26 (1987)
22. 上田倣完, 新家光雄；鉄合金と熔融Alとの反應によって生成する合金層について, 日本金屬學會誌, Vol. 42, No. 6, pp. 543~549 (1978)
23. 前掲書(1)；pp. 210~220
24. 洪鍾微；金屬材料, 理論과 應用, pp. 179~193 (1982)
25. Paul G. Shewmon；Diffusion in Solids, McGraw Hill Book Company, pp. 2~19 (1963)
26. 幸田成康；改訂 金屬物理學 序論, コロナ, pp. 101~140 (1975)
27. 日本 金屬學會編；金屬 データブック, pp. 24~29 (1974)