

아크 溶射法에 의한 鋼材表面에의 ALUMINUM浸透 및 耐蝕, 硬化性 피막형성에 관한 研究

김영식* · 배차현** · 문경만* · 오재환*

A Study on the Al Cementation and Formation of Corrosion-Resisting, Hardening Layer on the Steel Surface by the Arc Spray Method

Y.S.Kim*, C.H.Bae**, K.M.Moon*, J.H.Oh*

Abstract

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 follow :

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°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
磨耗性等的 多様な 性能을 지니는 優秀한 材料
의 開發이 要請되고 있다. 이러한 要請에 부응

* 한국해양대학

** 부산공업대학

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 各광을 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와 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할 때 에로전(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와 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.¹⁻³⁾

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.^{4,5)} 본 研究에서는 溶射法에 의해 알루미늄을 被覆한 후, 熱處理를 행하여 鋼材表面으로부터 內部로 알루미늄을 浸透시키는 소위 溶射法에 의한 알루미늄金屬浸透法을 確立하고자 한다.

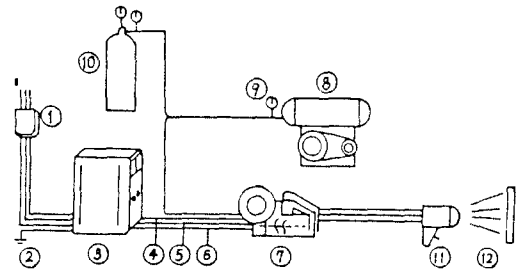
또한 알루미늄을 金屬表面으로 아크溶射할 때 캐리어가스(Carrier gas)로서 壓縮空氣를 利用하였을 때와 不活性가스인 아르곤가스를 利用하였을 때 熱處理 擴散 浸透層의 特性에 미치는 캐리어가스의 影響에 대해서도 考察하였다.

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.

電氣의 으로 獨立된 두 金屬와이어를 送給 裝置의 물러에 의하여 溶射건(gun)안으로 통과시켜 두 金屬와이어의 끝이 溶射건(gun) 先端部에서 一定한 角度로 마주칠 때, 아크가 發



- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| 1) INPUT (220V) | 7) Wire Feeder |
| 2) Earth | 8) Air Compressor |
| 3) DC Electric Source | 9) Compressor Air Controller |
| 4) Negative Cable | 10) Argon Vessel |
| 5) Control Cable | 11) Arc Spray Gun |
| 6) Positive Cable | 12) Base Metal |

Fig. 1. Schematic diagram of the arc spraying.

生되어 두 金屬와이어가 溶融하게 되며, 이 瞬間에 캐리어가스에 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 溶射距離, 溶射電壓 및 溶射電流는 全實驗을 통하여 各各 5kg/cm², 150 mm, 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 (10)의 아르곤 容器와의 交換이 可能하도록 하였다. 이러한 方法에 의해서 壓縮空氣와 아르곤 가스를 各各 캐리어가스로 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 高純度 99.5%以上の 알루미늄 와이어를 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 (a)는 母材로서 軟鋼板을 5×100×120 mm되게 機械加工한 後 세이퍼 加工으로 表面을 粗面化한 後 벤젠에 24時間 沈漬시켜 機械

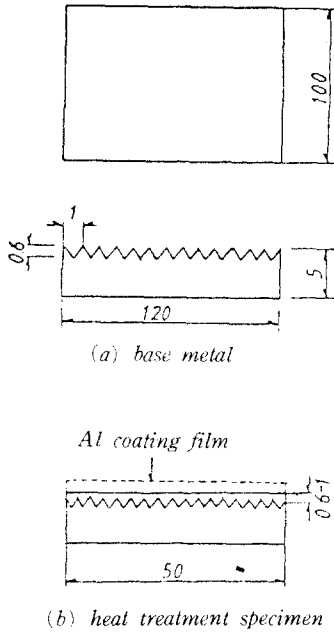


Fig. 2. Shape of base metal and heat treatment specimen

加工과 세이퍼 加工時 附着된 유지유, 먼지 등을 脫脂하고 10分 以內에 充分히 乾燥시켜 4패스(pass)로 溶射을 一定하게 實施한 後, Fig.2 (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 時는 最大加熱溫度 1100℃의 加熱爐를 使用하였고 試驗片은 加熱爐의 中央에 오도

록 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를 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 A₁變態點과 被膜層인 Al의 溶融點을 考慮하여 決定하였다.

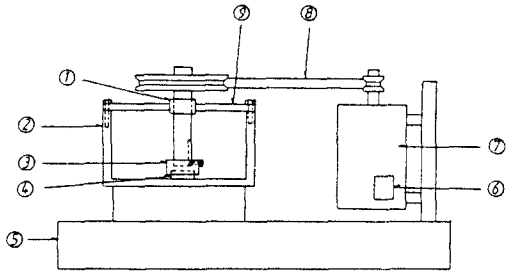
이 熱處理는 各 溫度에서 Al被膜層에 1kg/cm²의 均一한 壓力을 加한 狀態에서 行하였다.

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, Stereoscan-100)을 利用하여 Al과 Fe의 擴散浸透層의 生成與否 및 成長舉動을 調查하였다. 그리고, EDX (Energy dispersive X-ray micro-analyser Link社製)를 利用하여 擴散浸透層의 原素成分 및 Al과 Fe의 相互 擴散舉動을 調查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 調查하였다.

Al浸透層에 對한 에로전(Erosion)特性을 調查하기 爲해서 本 研究에서는 Fig.3과 같은 에로전(Erosion)試驗裝置를 考案, 製作하였다. 試驗片은 Fig.3의 (4)와 같이 裝着하여 海水雰圍氣 中에서 試驗片表面에서의 Al浸透層이 海水槽(Chamber)의 밑바닥과 摩擦이 일어나도록 하여, 600rpm으로 24時間동안 回轉시켰다. 이와 같은 試驗 後, 試驗片의 무게減量을 調查하여 各 溶射條件 및 熱處理條件에

Table.1 Heat treatment condition for experiment

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



- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1) Bearing | 6) Motor input switch |
| 2) Sea water chamber | 7) Motor (AC110V) |
| 3) Specimen assembly (400g) | 8) V Belt |
| 4) Specimen | 9) Support bar |
| 5) Bed | |

Fig. 3. Schematic diagram of the erosion test apparatus

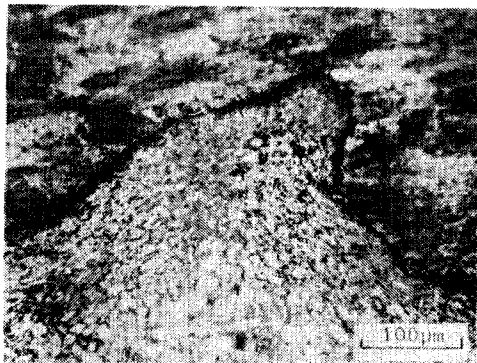
다른 에로전 (Erosion) 특성을 調査하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 鋼素材와 Al溶射被膜 境界層에서의 擴散浸透層 形成 및 成長舉動

Photo. 1-5는 溶射 後 熱處理溫度에 따른 境界層에서의 組織變化를 金屬顯微鏡에 의해 觀察한 組織寫眞이다. 이 경우는 아크溶射時 캐리어가스로서 알곤가스를 使用한 경우이며, 熱處理試驗片에 加해지는 加壓力은 모두 1kg/cm²로 一定하게 한 경우이다.

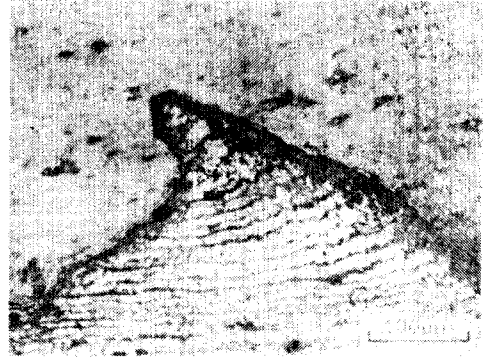
먼저 溶射處理만 행하였을 경우는 Photo. 1



(×200)

Photo. 1. Microstructure of as-sprayed specimen

에서 보이는 바와 같이 境界層에서 擴散浸透層의 形成은 觀察되지 않고, 境界層에 가까운 鋼素材側에 再結晶에 의한 結晶粒子의 微細化가 觀察된다. 이와같이 再結晶이 생기는 것은 溶



(×200, 600°C, 4hours, 1Kg/cm²)

Photo. 2. Microstructure of heat treatment specimen



(×200, 660°C, 4hours, 1Kg/cm²)

Photo. 3. Microstructure of heat treatment specimen



(×200, 700°C, 4hours, 1Kg/cm²)

Photo. 4. Microstructure of heat treatment specimen



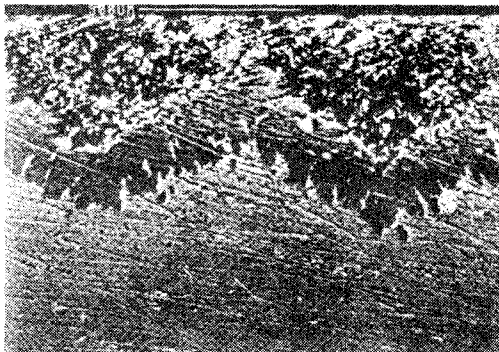
($\times 100$, 800°C , 4hours, $1\text{Kg}/\text{cm}^2$)

Photo. 5. Microstructure of heat treatment specimen

射時, 高溫의 溶融粒子가 素材表面에 衝突하여 鋼素材를 變態點 以上の 溫度로 加熱하기 때문인 것으로 思料된다.⁶⁾

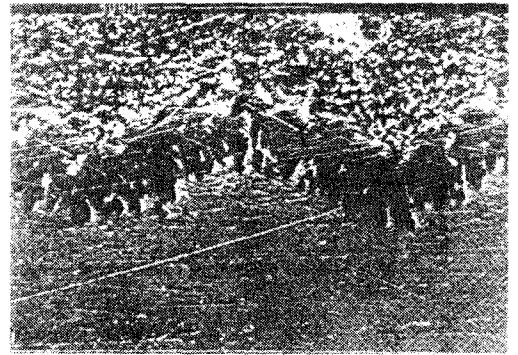
다음에 Photo. 2의 600°C 에서 4時間 熱處理한 試驗片 上에서도 境界層에서의 擴散浸透層은 觀察되지 않고, Al被膜層에 있어서 多少의 封空效果만이 觀察된다. Photo. 3은 純Al의 溶融點인 660°C 에서 4時間 熱處理한 경우이며, Photo. 4는 700°C 에서 4時間, Photo. 5는 800°C 에서 4時間 熱處理한 경우로서, 660°C 의 熱處理 溫度에서부터 비로소 擴散浸透層의 成長舉動이 나타났다.

Photo. 6, 7, 8은 溫度를 800°C 로 一定히 하고 加壓力 또한 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 一定히 하여 熱處理 時間을 各各 30分, 1時間30分, 4時間으로 하여



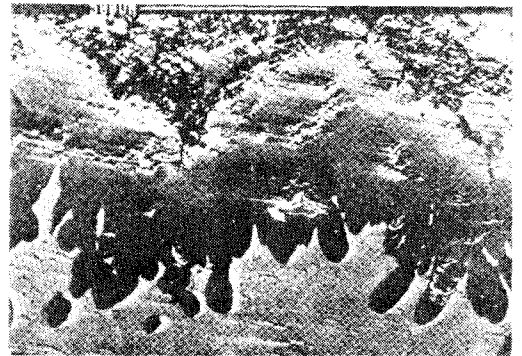
(800°C , 90min, $1\text{Kg}/\text{cm}^2$)

Photo. 6. Scanning electron microscope photograph of heat treatment specimen



(800°C , 30min, $1\text{Kg}/\text{cm}^2$)

Photo. 7. Scanning electron microscope photograph of heat treatment specimen



(800°C , 4hours, $1\text{Kg}/\text{cm}^2$)

Photo. 8. Scanning electron microscope photograph of heat treatment specimen

熱處理한 경우에 있어서 擴散浸透層의 成長舉動을 電子顯微鏡으로 觀察한 結果이다.

이 結果에 의하면 溫度와 加壓力을 一定하게 維持하였을 때 擴散浸透層은 熱處理 時間의 增加와 더불어 成長해 감을 알 수 있다.

Fig. 4는 溶射시 캐리어가스로서 알곤가스를 利用하여 溶射를 行하고, 800°C 의 溫度, $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 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 寫眞解釋法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.

以上の 內容을 綜合하면, 鋼素材 表面에 Al을 아크溶射後 大氣雰圍氣중에서 熱處理를 行하였을 때, Al溶融點인 660°C 以上에서 擴散浸

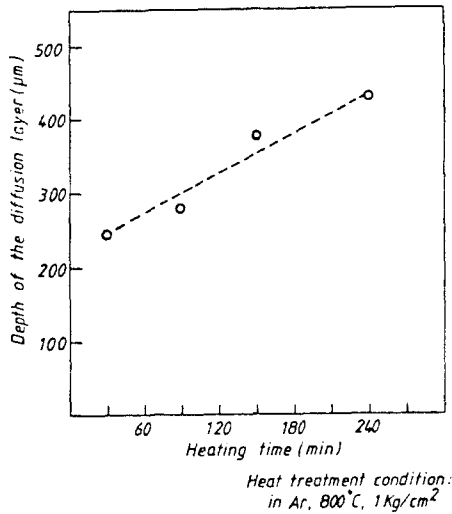


Fig. 4. Variation of the diffusion layer in relation to heating times

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

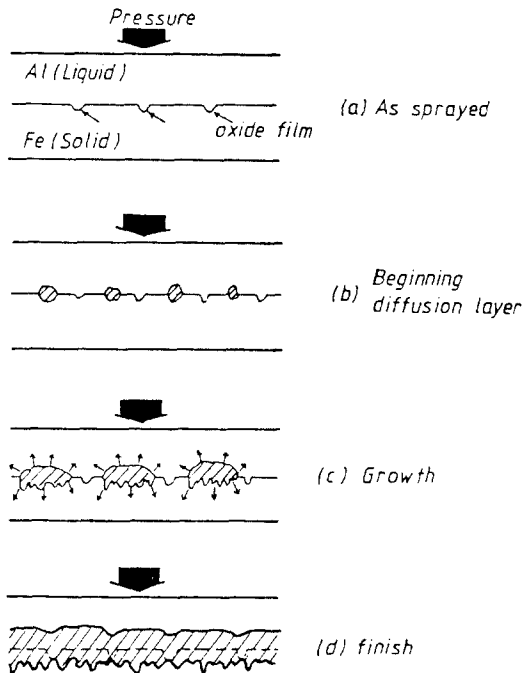


Fig. 5. Growth behavior of diffusion layer

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 卽속한 허모양으로 擴散浸透層이 成長하는 것으로 解釋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.

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 캐리어가스로서 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°C에서 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했을때 元素의 相互擴散이 이루어지고 있음을 보이고 있다. 이와 같은 結果는 3.1節에서 記述한 擴散浸透舉動과 잘 一致하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 溶射시 캐리어가스로서 알곤가스를 利用하여 溶射를 行하고, 800°C에서 4時間의 條件으로 熱處理한 시험편에 대해 EDX분석한 결과이다. 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 알곤가스로 溶射를 行할 境遇, 壓縮空氣로 溶射를 行한 境遇보다 溶射粒

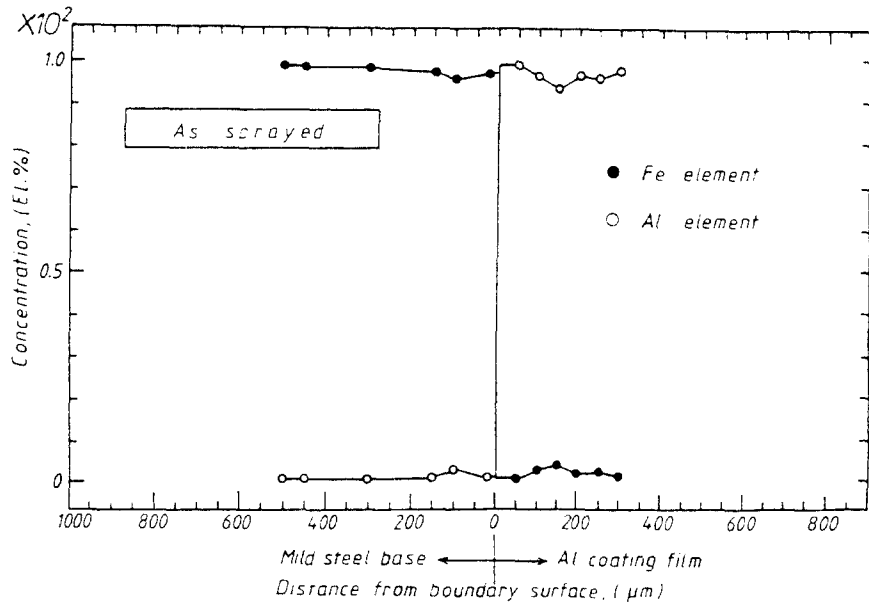


Fig. 6. Diffusion behavior of the element in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Air)

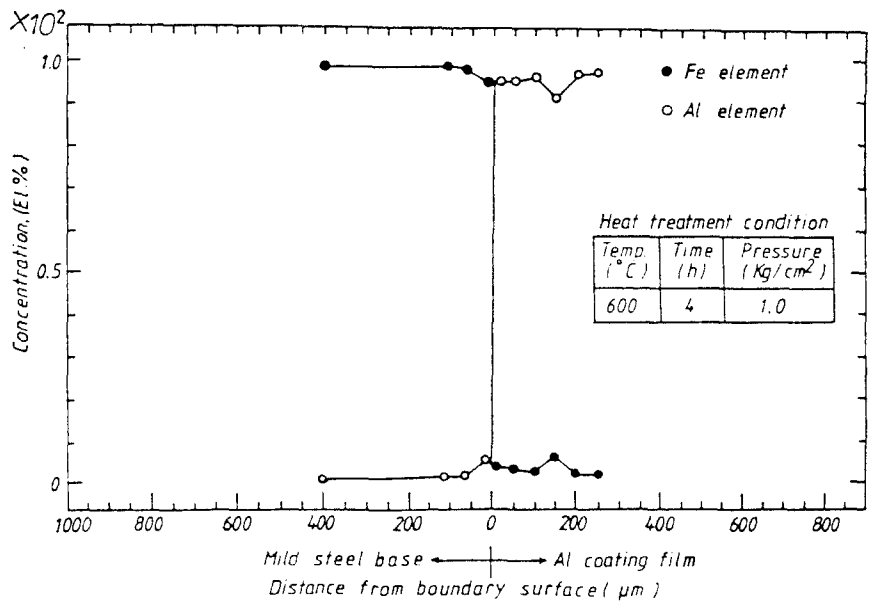


Fig. 7. Diffusion behavior of the elements in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Air)

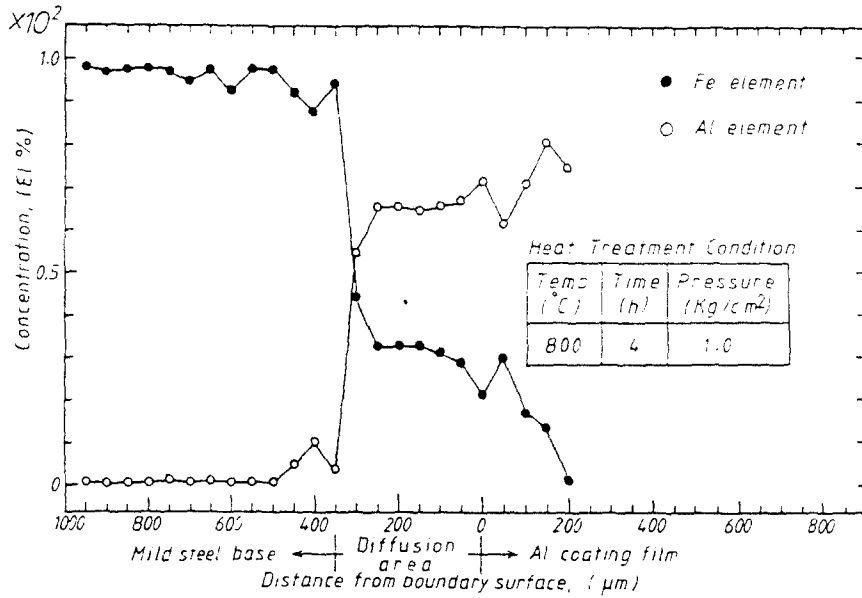


Fig. 8. Diffusion behavior of the elements in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Air)

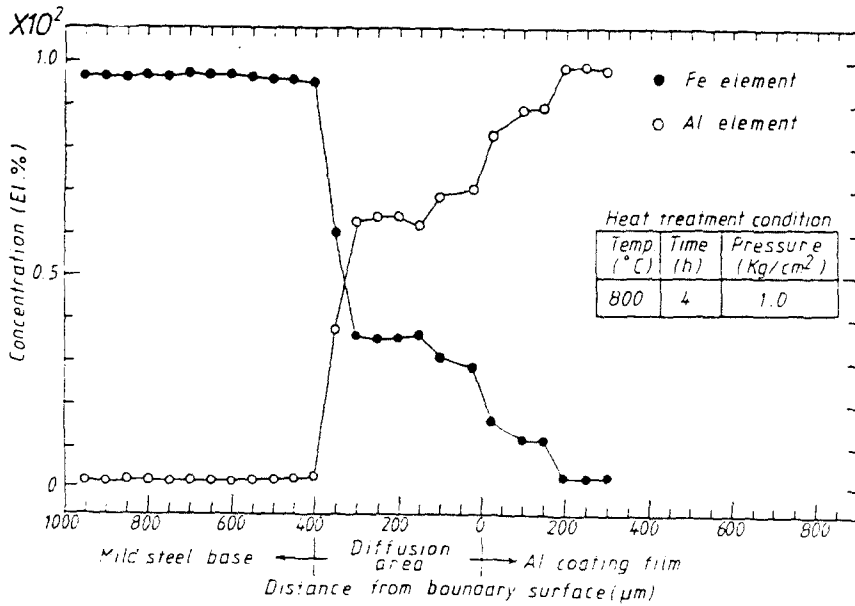


Fig. 9. Diffusion behavior of the element in substrate and coating film by EDX (arc sprayed by compressed Ar gas)

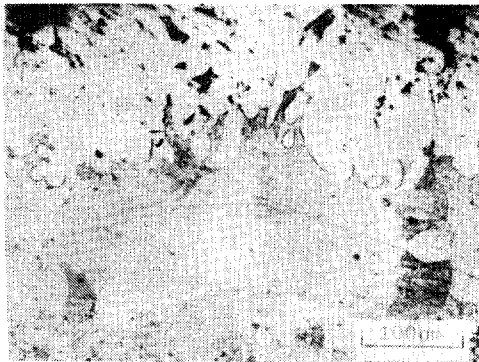
子の 퍼짐성과 密着성이 良好하고 鋼素材와 AL粒子사이의 酸化被膜形成이 적어서 元素의 相互擴散이 圓滑히 일어나기 때문인 것으로 思料된다.⁷⁾⁸⁾

3.3 擴散浸透層의 組織 및 成分

Photo.9는 壓縮空氣를 캐리어가스로 하여 溶射을 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.

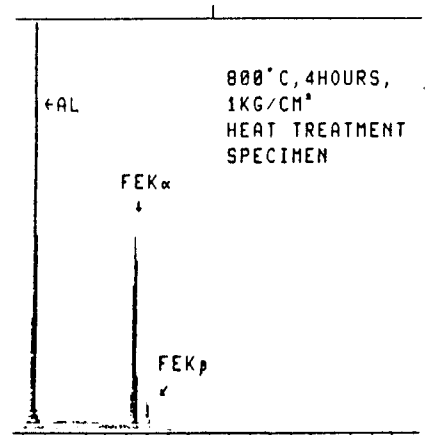


(a) Microstructure of the diffusion layer photographed by S E M

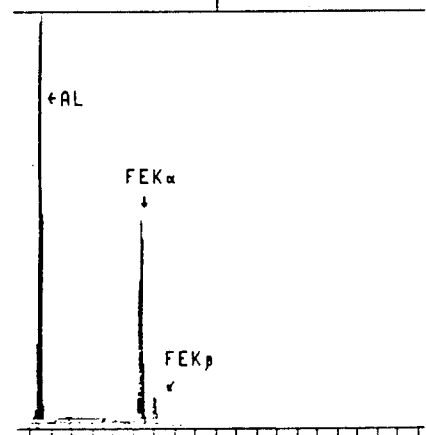


(b) Microstructure of the diffusion layer photographed by metallurgical microscope (X 200)

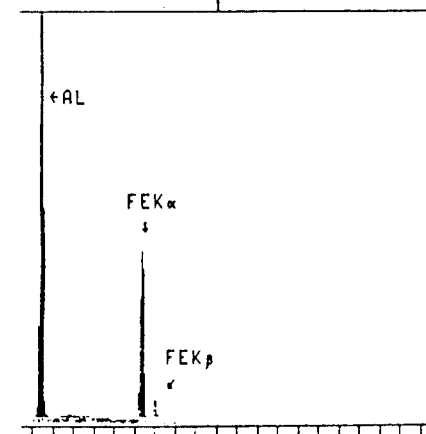
Photo. 9 Microstructure of the diffusion layer (arc sprayed by compressed Air 800°C, 4hours 1kg/cm²)



(a) Upper 100 μ m



(b) Center of diffusion layer



(c) Lower 100 μ m

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

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 卽ち 粗大한 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 100 μ m간격으로 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 元素造成比로 Al이 65-70%, Fe가 30-35%의 比率로 나타났다. 따라서 擴散浸透層의 本質은 FeAl₂, Fe₂Al₃, 또는 FeAl₃로 思料된다. 이러한 Al과 Fe의 金屬間化合物의 生成은 Fe-Al系 平衡狀態圖上에서 다음과 같이 說明될 수 있다.

Fe-Al系 平衡狀態圖上에서 Fig. 11과 같이 FeAl固溶體와 FeAl₂, Fe₂Al₃, FeAl₃와 같은 各種 金屬間化合物이 存在한다.

金屬表面上에 Al溶射材를 噴射한 後 800°C에서 熱處理하면, 等溫熱處理 過程에 의하여 Fe와 Al의 相互擴散反應이 進行되고 FeAl₂, Fe₂Al₃, FeAl₃ 領域의 造成比가 이루어질때에

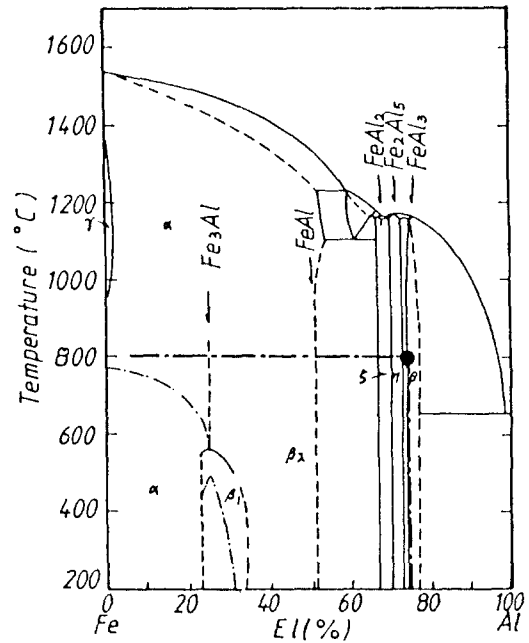


Fig. 11. Fe-Al phase diagram

擴散浸透層이 形成된 것으로 思料된다.⁹⁾¹⁰⁾

3.4 擴散浸透層의 機械的 特性

3.4.1 硬度分布

Fig. 12는 캐리어 가스를 壓縮空氣로 하여

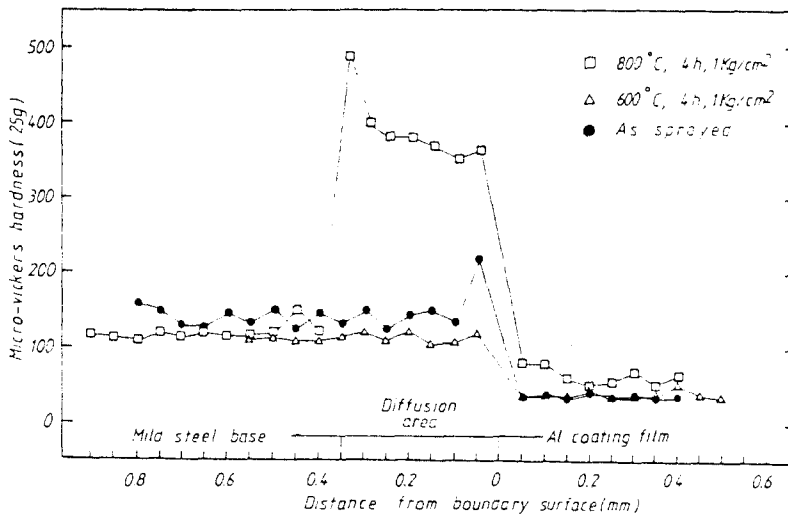


Fig. 12. Distribution of micro-Vickers hardness in heat treatment conditions (arc sprayed by compressed Air)

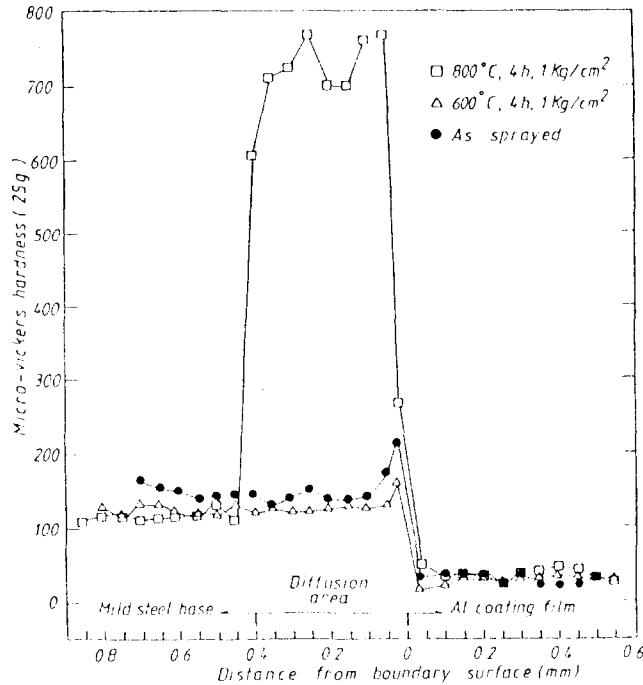


Fig. 13. Distribution of micro-Vickers hardness in heat treatment conditions (arc sprayed by compressed Ar gas)

溶射를 행한 境遇로서, 熱處理前과 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 均一加壓苛重 條件下에서 600°C 4時間 및 800°C 4時間의 熱處理를 行하였을 때 Al溶射被膜과 鋼素材 사이의 境界部에 있어서 硬度分布變化를 나타낸 것이다.

이에 의하면, 600°C 4時間의 熱處理條件下에서는 熱處理前보다 오히려 境界面에서 硬度減小現象이 나타나나, 800°C 4時間의 熱處理條件下에서는 熱處理前보다 4倍 정도 硬度增加現象을 보이고 있다. 또한 硬度增加現象이 나타난 領域은 $300\mu\text{m}$ 정도로 擴散浸透層의 領域과 一致하고 있다. 이와같이 600°C 에서 硬度減小現象이 나타나는 것은 600°C 熱處理에 의하여 軟化되었기 때문으로 생각되며,¹¹⁾ 800°C 에서의 硬度增加는 이미 앞에서 考察한 바와같이 FeAl_3 , Fe_2Al_5 와 같은 金屬間化合物 또는 固溶體를 形成하기 때문으로 생각된다.

Fig. 13은 캐리어가스를 알곤가스로 하여 溶射를 행한 境遇로서, 熱處理前과 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 均一加壓條件下에서 600°C 4時間 및 800°C 4時

間의 熱處理를 行하였을 때의 Al溶射被膜과 鋼素材사이의 境界部에 있어서 硬度分布變化를 보이고 있다. 壓縮空氣로 溶射를 행한 境遇와 거의 유사한 樣相을 보이나, 800°C 4時間의 熱處理를 행한 境遇, 硬度가 7倍 정도로 훨씬 높은 增加를 보이고, 擴散層의 깊이도 약 $350\text{--}450\mu\text{m}$ 정도로 약간 깊게 나타나고 있다. 이처럼 硬度增加가 壓縮空氣로 溶射를 행한 境遇보다 不活性 가스인 알곤가스로 溶射를 행한 境遇가 큰것은 溶射粒子的 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이 일어나 固溶體보다는 FeAl_3 , Fe_2Al_5 등과 같은 金屬間化合物이 많이 形成되기 때문으로 思料된다.

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°C 의 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°C 의 熱處理溫度條件下에서 熱處理한 試驗片에 대해 元素擴散量を EDX에

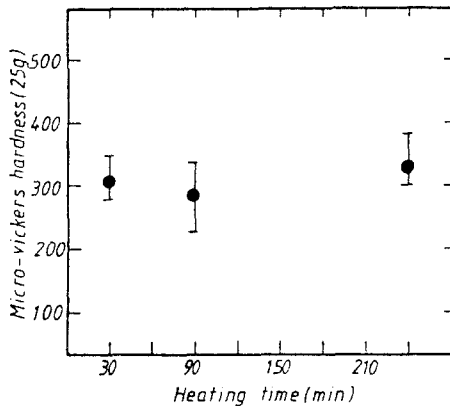


Fig. 14. Micor-vickers hardness distribution according to heat treatment time in 700°C

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

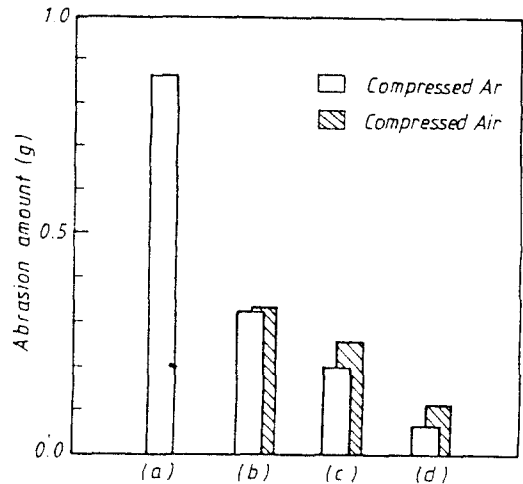
Element (El. %)	Time	30min	90min	240min
Al		45.7	44.9	42.2
Fe		52.7	53.7	56.4

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.

3.4.2 耐 磨減(Erosion)特性

Fig. 15는 加壓力 0.1kg/cm², 回轉數 600 rpm으로 海水霧圍氣 중에서 에로전(Erosion) 試驗한 結果를 나타낸 것이다. 에로전試驗用 試驗片의 Al溶射被膜은 0.3mm정도로 均一하게 하였고, 試驗後 磨耗량은 0.01g까지 測定 가능한 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°C에서 4時間의 熱處理를 行한 試驗片, (d)는 溶射後 800°C에서 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 에로전(Erosion) 抵抗性이 가장 良好한 狀態는 (d), (c), (b), (a)의 순으로 나타나 있다. 여기서 800°C 4時間의 熱處理를 行한 境遇가 에로전(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의 增加때문인 것으로 생각된다. 또 600°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 등의 影響으로 溶射後 熱處理前의 試驗片이나 鋼素材보다 磨耗量이 적은 것으로 생각된다. 鋼素材의 磨耗量이 가장 큰 것은 表面이 직접 接觸 磨耗되고 腐蝕이 발생하여 에로전(Erosion) 抵抗性이 나쁜것으로 思料된다. 또한 캐리어 가스를 알곤 가스로 溶射를 行한 境遇가 壓縮空氣로 行한 境遇보다 에로전(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/cm² Heat treatment specimen
 (d) 800°C, 4hours, 1kg/cm² Heat treatment specimen

Fig. 15. Abrasion amounts at the result of erosion test (Pressure : 0.1kg/cm², Time : 24 hours, 600rpm, Sea water)

3.4.3 反覆 熱싸이클에 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한 熱싸이클을 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 캐리어 가스를 알곤 가스로 하여 溶射를 實施하고, 800°C에서 4時間, 1kg/cm²의 條件으로 浸透熱處理를 行



(a) Diffusible heat treatment specimen before cyclic heat



(b) Cyclic heating specimen after diffusible heat treatment [cyclic heating temp.: 500°C cyclic heating interval:30 number of cyclic heating ; 40 times]

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

한 試驗片에 대해 Fig.16과 같이 500°C로 加熱後 水冷하는 熱싸이클을 反覆하여 40回 만큼 附加하였을 때의 組織變化를 熱싸이클 附加前의 組織과 比較하여 나타낸 것이다. 이에 의하면, (a) 熱싸이클 附加前의 組織과 比較하여 (b) 熱싸이클을 40回 反覆하여 附加한 後의 狀態는 別다른 組織變化가 나타나지 않았음을

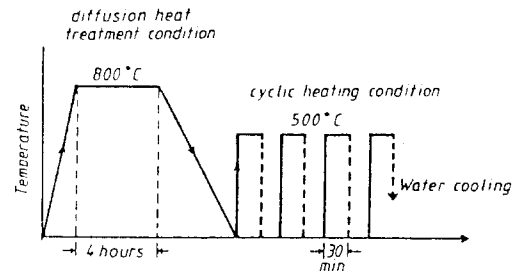


Fig. 16. Schematic diagram of cyclic heating condition

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싸이클을 附加한 경우의 試驗片에 있어서 Fe와 Al의 擴散浸透層과 鋼素材의 熱處理만을 行한 경우의 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 경우에도 硬度값은 變化하지 않고 거의 비슷한 樣相을 나타내고 있다.

以上과 같은 結果를 綜合하면, 擴散浸透處理만 行한 경우나 擴散浸透處理後 反覆熱싸이클을 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

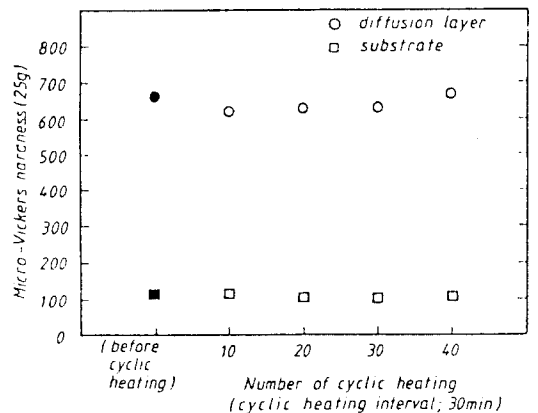


Fig. 17. Distribution of micro-Vickers hardness at diffusion layer and substrate by cyclic heating.

透層에 대한 高溫에서의 使用特性이 反覆 되는 熱變形을 받는 곳에서도 良好한 기계적 特性을 維持하면서 使用이 可能하다는 것을 立證한 것이다.

4. 결 론

鋼素材表面에 高純度 알루미늄 와이어를 利用하여 아크용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) 용射處理後 Al용射被膜의 Al擴散浸透熱處理에 의해 탁월한 에로전(Ersoion), 耐高溫 酸化性的 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) 알곤 가스를 캐리어 가스로 利用했을 경우가 壓縮空氣를 利用한 境遇보다 월등히 向上된 機械의 特性을 지닌다.

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

끝으로 本 研究는 產學協同財團의 연구비 지원과 동원공업사와의 Matching fund연구비로 이루어진 것임을 밝혀두는 바이며, 同財團에 깊은 謝意를 표한다.

參考文獻

1. 川瀬良一, 草石正義, 前原健治; 아크용射法에 於ける 아크 現象과 크리나熔融(아크 용射法에 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)
2. 石川量大, 關 雅雄; 용射被膜의 特性, 日本金屬誌, 12月號, pp. 14~17(1985)
3. 關 石川; 용射技術의 適用과 問題點, 日本機械學會誌, Vol. 82, No. 724, pp. 270~275(1979)
4. 金屬表面技術協會; 金屬表面技術便覽, pp. 1160~1176(1977)
5. 康熙澤, 呂運寬; 最新 金屬表面處理, 東明社, pp. 337~338(1986)
6. 川瀬良一, 暮石正義; 아크熔接法에 於ける 熔融金屬溫度(아크 용射法에 關する 研究 第三報), 日本熔接學會論文集, Vol. 2, No. 3, pp. 52~58(1984)
7. IIW ; The physics of welding, pp. 9~36(1984)
8. 金永植, 余旭鍾; 아아크용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)
9. 上田叔完, 新家光雄; 鐵合金과 熔融Alとの反應에 於て 生成する 合金層에 關하여, 日本金屬學會誌, Vol. 42, No. 6, pp. 543~546(1978)
10. 前掲書(1); pp. 210~220
11. 洪鍾徽; 金屬材料, 理論과 應用, pp. 179~193(1982)