

## &lt; 研究論文 &gt;

## 熔融알루미늄 鍍金한 鋼板의 機械的 性質에 關한 研究

金 錫 胤\* 崔 鍾 述\*\*

## A Study on Mechanical Properties of Aluminized Steel Plate

Suk Yoon Kim Chong Sool Choi

## ABSTRACT

The mechanical properties of aluminized steel were investigated after the JIS SB 41 plates were dipped in molten aluminum bath.

- (1) The growth rate of iron-aluminum alloy layer was fast in early stage of aluminizing, and then gradually decreased with increasing time. However, over the time period above 10 minutes the growth of alloy layer did not occur.
- (2) The constituent of alloy layer formed on the steel surface was identified to be intermetallic compound of  $Fe_2Al_5$ .
- (3) The ultimate tensile strength and elongation of aluminized steel showed a nearly constant value over all thickness below about 0.15 mm. However, both properties decreased rapidly in showed a nearly constant value over all thickness above about 0.20 mm.
- (4) In case of aluminized steel with greater thickness, crack was formed below yield point of base metal, which is considered to be attributed to the alloy layer failure.

## 1. 緒 論

最近에 이르러 鐵鋼材料의 耐酸化, 耐蝕性 및 耐熱性의 向上을 目的으로 熔融알루미늄 鍍金을 鐵鋼表面에 工業적으로 實施하고 있다.

熔融알루미늄 鍍金層은 일반적으로 純알루미늄層과 合金層의 二層으로 構成되어 있으며, 合金層에 對한 研究는 지금까지 많이 수행된바 있다. 예컨대 Dovey와 Woluski<sup>(1)</sup>이외의 여러 研究者<sup>(2)</sup><sup>(4)</sup>는 合金層의 高溫에서의 耐酸化性을 具體的으로 調査한바 있으며, Morinaga와 Kato<sup>(5)</sup>는 合金層의 耐硫化性을 調査하였다.

또한 많은 研究者들에 依해서 合金層의 成分에 關해서도 調査되어 졌다. 어떤 研究者들은<sup>(6)(7)</sup> 合金層이  $FeAl_3(\theta)$ 라고 주장하는가하면 어떤 研究者들은<sup>(8)(9)</sup> 合金層이  $Fe_2Al_5(\mu)$ 라고 주장하고 있다. 한편 Coburn<sup>(10)</sup>은 合金層이  $Fe_2Al_3(\mu)$ 와  $FeAl_3(\theta)$ 의 混合이라고 주장하고 있다.

이와같이 熔融알루미늄 鍍金層의 合金層 自體에 關한 研究는 여러 方面에서 많은 研究者들에 의해서 수행되었지만, 熔融알루미늄 鍍金層의 合金層이 鐵鋼素材의 機械的性質에 미치는 영향에 關해서는 아직까지 體系적으로 調査된 研究는 전혀 없다. 따라서, 本研究에서는 熔融알루미늄 浸漬時間을 變化시킴으로서 合金層의 두께를 變化시킴에 따라서, 熔融알루미늄 鍍金된 鋼材의 機械的性質이 어떻게 變化하는지를 體系적으로 調査, 檢討하였다.

\* 弘益大學校 工科大学 副教授

\*\* 延世大學校 工科大学 教授

## 2. 實驗方法

### 2-1 素材

實驗에 使用한 素材는 低炭素鋼인 JIS SB41 (KSD 3503)이었으며 이의 化學組成은 Table 1 과 같다.

Table 1. Chemical composition of the steel used

SB 41	C	Si	Mn	P	S
	0.20	0.15	0.4	<0.05	<0.05

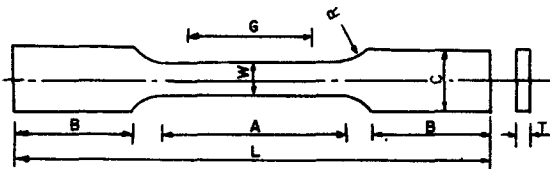
또 熔融鍍金用으로 使用한 알루미늄은 Canada 産이었으며 그것의 化學組成은 Table 2 와 같다.

Table 2. Chemical composition of the aluminium used.

Aluminium	Al	Si	Fe	Cu	Ti	Mn
	99.5	<0.25	<0.45	<0.02	<0.02	<0.02

### 2-2 試片製作

素材인 SB 41을 shaper 와 milling machine 으로 정밀 가공하여 Fig 1. 과 같은 形狀과 치수를 갖는 引張試驗片을 만들었다.



Unit: mm

G	58 ± 0.2	L	158
W	12 ± 0.1	A	67.5
T	6 ± 0.5	B	35
R	15R	C	30

Fig. 1. Shape and dimension of the specimen for tensile test.

### 2-3 熔融알루미늄鍍金

熔融알루미늄 鍍金 (aluminizing) 工程은 前處理, flux 處理, 合金處理, 後處理의 4段階로 區分하여 施行하였으며, 이때 工程圖는 Fig. 2와 같다.

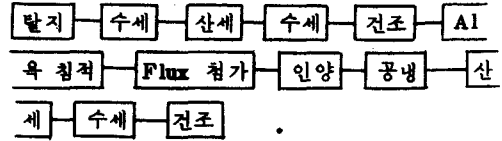


Fig. 2 The process of Aluminizing.

熔融알루미늄의 鍍金過程의 概略을 說明하면 먼저 試片을 20% NaOH 水溶液中에서 脫脂한 다음 水洗後 10% HCl 中에서 酸洗하고 다시 水洗한 다음 乾燥시켜 730°C로 維持된 Al 浴槽(1m × 1m × 6m)에 浸漬시켰다. 이때 浸漬時間은 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15分 間격으로 變化시켰다. 浸漬後 酸化알루미늄의 熔解目的으로 Flux를 使用하였으며 이때 Flux의 重量比는 KCl 40, NaCl 30, Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> 10, ZnCl<sub>2</sub> 20이었다. 또 浸漬後 引揚된 試片은 空冷한 後 5% HNO<sub>3</sub> 水溶液으로 Flux를 除去하였으며 酸洗後 水洗하였다.

### 2-4 引張試驗

熔融알루미늄 鍍金된 引張試驗片은 Instron에 의하여 常溫에서 引張試驗을 行하였으며 이때 strain rate는 1 × 10<sup>-3</sup>/sec이었다.

또 引張試驗이 끝난 試片은 鍍金層의 두께를 測定하기 위하여 試片의 端部를 切斷하여 斷面을 研磨한 後 5% Nital로서 腐蝕한 다음 顯微鏡으로 調査하였다.

또한 EPMA 分析에 依해서 合金層의 成分도 檢討해보았다.

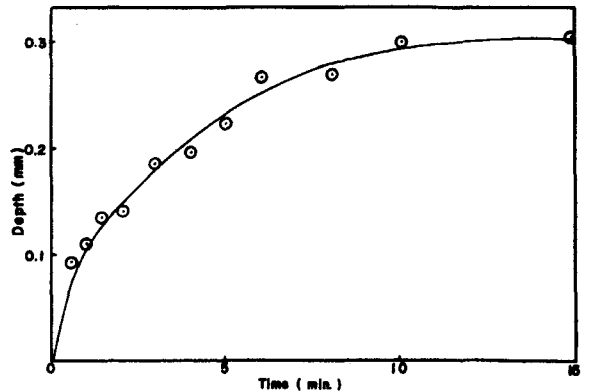


Fig. 3. Relation between dipping time and depth of alloy layer for the aluminized steel, at 730°C.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3-1 熔融鍍金屬의 顯微鏡組織

730°C에서 각종 시간동안 鍍金을 行한 後 鍍金屬의 顯微鏡組織을 觀察한 結果는 Photo 1과 같다. 鍍金時間이 增加함에 따라 合金層의 두께가 增加하고 있다.

Fig. 3은 鍍金時間과 合金層의 두께와의 관계를 나타낸것이다. 그림에서 보는바와 같이 鍍金初期에는 合金層의 成長速度가 빠르다가 時間이 경과함에 따라 成長速度가 漸次 減少하고 약 10分 以上에서는 合金層의 成長이 거의 일어나지 않음을 알수있다.

#### 3-2 熔融鍍金屬을 構成하고 있는 合金層

鍍金屬中의 合金層成分에 關係서는 많은 研究가 있다.(6)-(10)

Gitting(6) 및 Morinaga(7)는 合金層의 主成分이  $FeAl_3$ (8)라고 主張하며, Gurtler(8) 및 Ryabov

(9)는 合金層의 主成分이  $Fe_2Al_5$ (4)라고 主張하고 있다. Fig.4에 나타낸 Fe-Al 平衡狀態圖에(11) 따르면 730°C에서 平衡 存在할수 있는 金屬間化合物은 Fig. 5에 나타낸바와 같다. 즉 Fe 側으로부터  $FeAl_2$ ,  $Fe_2Al_5$  및  $FeAl_3$ 의 3種이 順序的으로 存在할수 있음이 可能하다. 이러한 경우가 達成되기 위해서는 Fe와 熔融 Al을 무한히 오랫동안 接觸시켜야하며, 實際로는 熔融알루미늄 中에 Fe를 浸漬하는 時間은 10余分 程度의 극히 짧은 시간이므로 위의 3種의 金屬間化合物은 同時에 共存하기 어렵다.

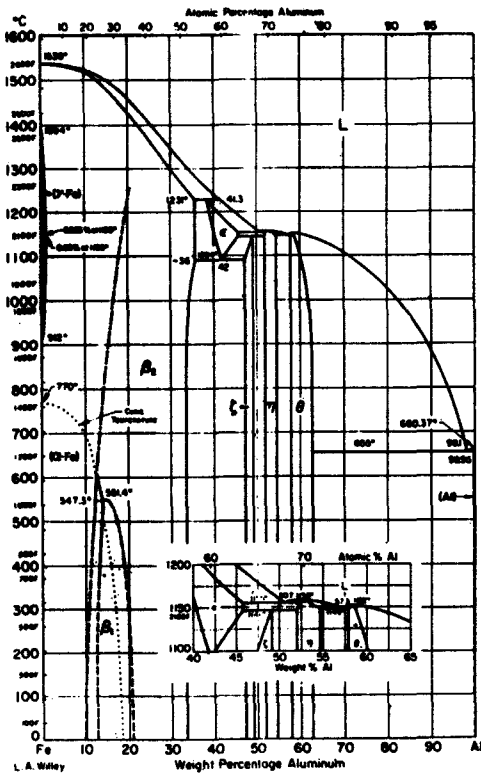


Fig. 4. Fe - Al equilibrium phase diagram.

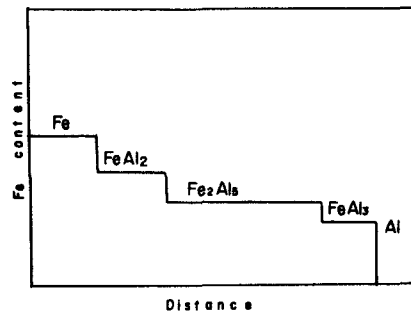
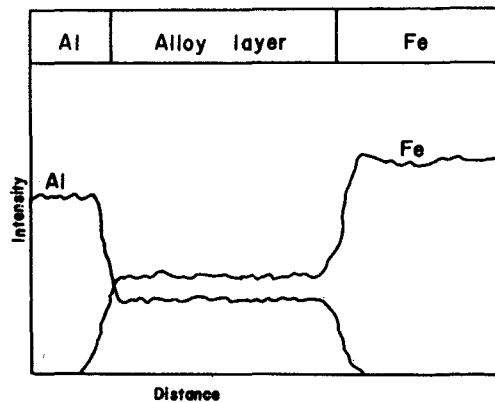


Fig. 5. Schematic illustration for the constituent of alloy layer formed at 730°C, being supposed from Fe - Al equilibrium phase diagram.

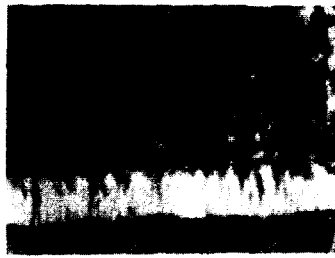


g. 6. Change in intensity of Fe-K $\alpha$  and Al-K $\alpha$  when crossed from the base steel to the aluminum layer for SB 41 dipped in molten aluminum for 10 minutes at 730°C.

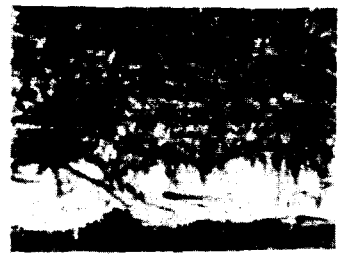
Fig. 6은 730°C에서 10分間 熔融알루미늄 中에 浸漬한 鋼材試片에 대해서 EPMA로 分析한 結果를 나타낸것이다. intensity의 相對值를 比較, 計算하여 보면 合金層은  $Fe_2Al_5$ 임을 類推할수 있다.



0



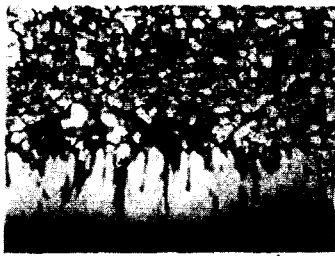
0.5 min.



1 min.



1.5 min.



2 min.



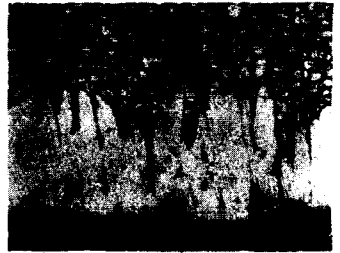
3 min.



4 min.



5 min.



6 min.



8 min.



10 min.



15 min.

Photo.1. Microstructure of alloy layer produced by aluminizing treatment in molten aluminum bath at 730°C (x100).

3-3 機械的 性質

熔融알루미늄鍍金한 鋼材의 機械的 性質을 合金層의 두께에 대해서 調査한 結果는 Fig. 7 및 Fig. 8 과 같다. 그림에서 보는바와 같이 合金層의 두께가 약 0.15mm까지 增加하여도 引張程度와 的 伸率은 거의 變化하지 않고 一定한 값을 維持한다. 그러나 두께가 0.15~0.20mm인 區域에서는 引張強度와 伸率在 急히 減少하며 약 0.2mm 以上の 區域에서는 두께에 關係없이 兩性質이 거의 一定水準을 維持하고 있다. 그러므로 構性用 鋼材를 工業的으로 熔融알루미늄鍍金을 할시에는 熔融알루미늄의 鍍金層(合金層)의 두께를 0.15mm 以下로 制限하여야 한다. 合金層의 두께가 약 0.15mm 以上으로 두꺼우면 引張強度와 伸率在 急速히 減少하는 理由는 일단 다음의 두개 因子를 생각해 볼수 있다.

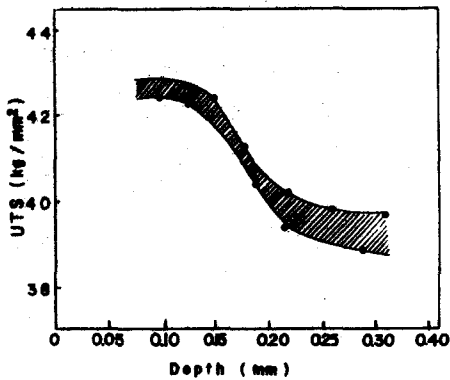


Fig. 7. Relation between tensile strength and depth of alloy layer for the aluminized steel.

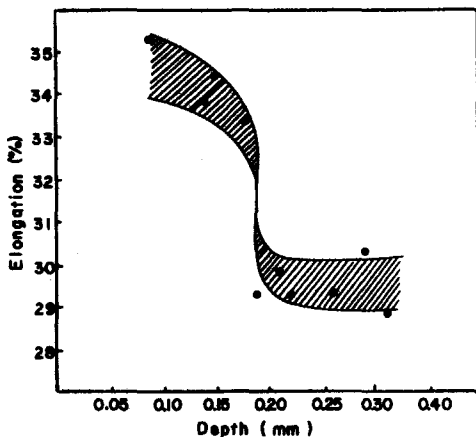


Fig. 8. Relation between elongation and depth of alloy layer for the aluminized steel.

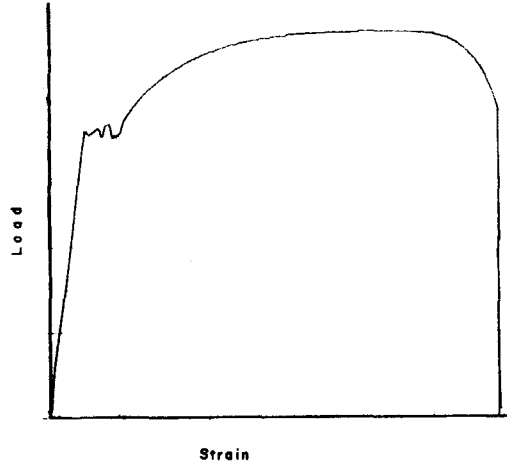


Fig. 9. Load-strain curve of aluminized steel with an alloy layer of 0.11mm.

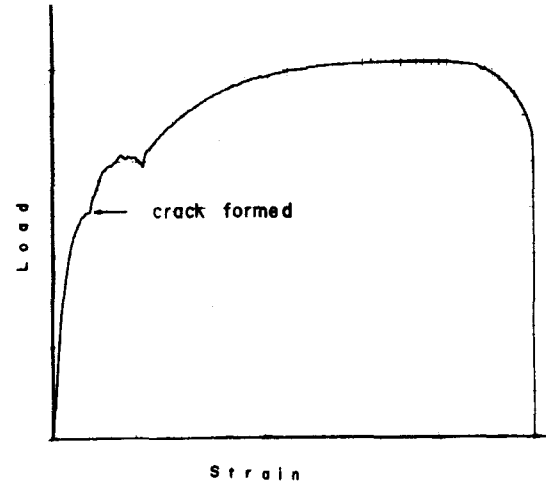


Fig. 10. Load-strain curve of aluminized steel with an alloy layer of 0.26 mm.

(i) 脆性인 合金層이 增加할수록 強度를 부담하는 素地金屬(鋼材)의 斷面이 減少하므로 결국 알루미늄 被覆鋼材의 外見上 引張強度는 合金層의 增加와 더불어 減少한다.

(ii) 脆性인 合金層은 素地金屬의 降伏點 以下에서 早期破斷하는데, 이 合金層의 破斷으로 因해서 야기되는 局部的 應力에 依하여 素地金屬에 crack이 誘發될 可能性이 있다. 이 crack 誘發의 可能性은 合金層이 두꺼울수록 크다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 合金層의 두께가 0.11mm

와 0.26mm를 갖는 알루미늄被覆鋼材의 Load - Strain 曲線을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 合金層이 두꺼운것은 素地金屬의 降伏點以下에서 crack이 誘發되었음을 알수있다.

위의 理由中 (i)의 境遇가 支配的인 境遇에는 引張強度와 伸率이 合金層의 두께 增加와 더불어 完滿하게 感少해야 한다. 그러나 Fig. 7 및 Fig. 8에서 보는바와 같이 0.15~0.2mm 두께 區域에서 引張強度와 伸率이 急速히 感少하고 있다.

따라서 (i)의 境遇보다는 (ii)의 境遇가 支配的인 理由가 된다고 생각된다.

#### 4. 結 論

JIS SB 41 鋼材를 熔融알루미늄 鍍金하여 機械的性質을 調査한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) Fe - Al 合金層의 成長速度는 初期에 빠르고 時間과 더불어 점점 感少하다가 약 10分 以上에서는 合金層의 成長이 거의 일어나지 않았다.

(2) 鋼材表面에 形成된 合金層의 主成分은 Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> 이었다.

(3) 合金層의 두께가 約 0.15mm 以下에서는 두께에 關係없이 알루미늄被覆鋼材의 引張強度와 伸率은 거의 一定值를 나타냈지만, 두께가 0.15 ~ 0.20mm인 區域에서는 兩性質이 急速히 減少하여 約 0.2mm 以上두께에서는 두께에 關係없이 거의 一定值를 維持하였다.

(4) 알루미늄 被覆鋼材의 合金層이 두꺼운 境遇에는 引張試驗時 素地金屬의 降伏點以下에서 早期 crack이 發生하였다.

#### 後 記

本 研究는 1979年度 産學協同財團의 學術研究 費에 의해 수행된 것으로 이에 謝意를 表합니다.

#### 參 考 文 獻

1. D.M.Dovey and A.Waluski ; Metallurgia, May, 211 (1963)
2. M.Tagaya, S.Isa and H.Harima ; J. Metal Finishing Soc. of Japan, 11,685(1960)
3. M.Tagaya, S.Isa, S.Miyase and K.Murase ; J.Metal Finishing Soc. of Japan, 7,267 ( 1956 )
4. M.L.Hughes and D.F.G.Thomas ; Metallurgia, Nov,241(1955)
5. T.Morinaga and Y.Kato ; J.Japan Inst. of Light Metals, 13, 61(1963)
6. D.O.Gittings, D.H.Rowland and J.D.Mack ; Trans. ASM., 43,587(1951)
7. T.Morinaga and Y.Kato ; Trans. Japan Inst. of Metals, 19,578(1955)
8. G.Gürtler and K. Sägel ; Z. Metallk., 46 738(1955)
9. V. R.Ryabov, V.I.Yumatova, V.F. Grabin and A.P Butnik ; Protective Coatings on Metals, 4, 98(1972)
10. K.G.Coburn ; Met. Eng. Quart., Feb., 54(1964)
11. A.S.M ; Metals Handbook 8,260(1973)