アルミニウム被覆鋼に関する研究 (第7報) 鋼材の合金元素が合金層に及ぼす影響について*

嵯 峨 卓 郎** 安 井 正 人**

Takuro Saga and Masato Yasui: Study on Aluminium-Coated Steel (7th Report). Influence of the Chemical Composition of Steel on the Formation of Interfacial Alloy Layer. The effect in the hot-dipped aluminizing process of the alloying elements found in steel on the mechanism of interfacial alloy layer formation was investigated. The results obtained were as follows: (1) Silicon, chromium or manganese in steel act as inhibitor in the same way as when these elements are added to the aluminium bath. (2) A more effective inhibitive action is obtained by addition of silicon to the aluminium bath than by its addition to the base metal. (3) The softening effect of silicon in steel on the hard alloy layer is more efficient with the increase of silicon content. (4) The mean chemical composition of the alloy layer produced with pure iron and pure aluminium is somewhat higher in Fe-content than FeAl_3 . The rate of silicon content in the alloy layer was found to be correlated with the silicon content in the steel.

(Received October 13, 1956)

I. 結 言

高温浸漬法により鋼材に Al 被覆を施すと Al 層と Fe-Al 合金層が形成されこのため鋼材の耐熱性 (耐高温酸化性) および耐蝕性が改善されることが知られており、耐熱、耐蝕性の要求される所に使用されている。著者の一人は第1報⁽¹⁾および第3報⁽²⁾でこの Al 被覆鋼の耐熱性について検討し、合金層の生成状況が耐熱性に影響を及ぼすことを述べた。この合金層は Al と素材の Fe の相互拡散により生成されるもので、その大部分は FeAl_3 よりなるといわれており、その形成は浸漬温度、時間、Al 溶の化学組成、鋼材の合金元素、大きさなどに影響される。このうち浸漬温度、時間、Al 溶の化学組成などについては他の研究者⁽³⁾により明らかにされているが、鋼材の合金元素の影響についてはなお不明の点があるので、著者らはこの中 Si, Cr, Mn の影響について合金層の生成状況並びに硬度、化学組成などから検討を行ったので報告する。

II. 実 験 方 法

Al 被覆の素材は Table 1 に示す鋼板で板厚 0.5~0.6 mm の焼鈍材である。これを巾 50 mm、長さ 70 mm の大きさに切断し酸洗後 800° に保った熔融フラックス中に 30 sec 浸漬し予熱旁ミフラックス処理を行い、次に 99.7% の熔融 Al 浴中に浸漬して合金層を形成せしめ、しかる後空气中で冷却した。浸漬温度は 700°, 750°, 800° 浸漬時間は 5, 60, 120, 180 sec に変化せしめ浸漬温度、時間による合金層の生成状況、厚さを顕微鏡で観察測定すると共に合

合金層の硬度を引張硬度計およびヴィッカース微小硬度計を用いて測定した。また合金層の化学組成に関しては 750~800° で 2~3 min, 99.7% の純 Al 浴に浸漬したものをワイヤー羽布で研磨して表面の Al 層を綺麗に除去して合金層を曝露せしめ、次に試料を屈曲せしめて合金層を素材より剝離し、しかる後 HNO_3 の中で充分洗滌して化学分析に供した。

Table 1 Chemical composition of specimens.

Specimen No.	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Cu (%)
A-1	0.02	0.15	0.015	0.027	0.016	—	0.01
S-1	0.05	1.18	0.27	0.013	0.013	—	—
S-2	0.03	1.73	0.23	0.018	0.019	—	—
S-3	0.05	2.81	0.11	0.023	0.015	—	—
S-4	0.05	4.49	0.11	0.023	0.017	—	—
C-1	0.11	0.45	0.51	0.019	0.009	12.86	—
C-2	0.09	0.43	0.39	0.024	0.010	18.69	—
M-1	0.50	0.35	1.10	0.035	0.035	—	—
M-2	1.06	0.41	13.10	0.038	0.007	—	—
B-1	0.14	0.13	0.40	0.101	0.024	—	—
B-2	0.16	—	0.49	0.109	0.023	0.15	—

III. 実 験 結 果 と そ の 考 察

1. 合金層の生成について

(1) Si の影響

上述の試料 A1 および S1~S4 の浸漬温度 700° の浸漬時間と合金層の関係を Fig. 1 に示す。試料 A1 は純鉄であつて S1~S4 と共に浸漬時間の長いほど合金層の厚さは大になるがその増加の割合は時間と共に少くなり、また鋼材中に含まれる Si % が増加すると合金層の生成が抑制されることが判る。なおこれら試料の浸漬温度 750° (図省略) および 800° (Fig. 2 参照) の時の浸漬時間と合金層の厚さも測定した。いずれも 700° の時と比較して浸漬温度の高いときは合金層がよく発達するが、こゝでも矢張り鋼材中の Si % の多いものほど合金層の形成は阻止されている。

** 東京都立大学工学部

*** アルマー工業株式会社

* 1956 年 4 月本会東京大会に発表

(1) 嵯峨, 宮川, 本誌, 19(1955), 404.

(2) 嵯峨, 宮川, 本誌, 20(1956), 185.

(3) D. O. Gittings, D. H. Rowland and J. O. Mack, Trans. ASM, 43(1951), 587.

このように Si は鋼材中に入ると合金層の形成を阻止するが、Al 浴に添加した場合も矢張り合金層の形成を抑制し鍍

Fig. 1 Relation between thickness of alloy layer and dipping time for various Si-steel sheets dipped 700°.

Fig. 2 Relation between thickness of alloy layer and dipping time for various Si-steel sheets dipped 800°.

Table 2 Influence of Si content on thickness of alloy layer.

Dipping time (sec)		5	15	6°
Si (%)				
Si in Al-Si bath	3	10	14	13
	5	8	9	11
Si in Si-steel	2.81	18	24	44
	4.49	15	19	35

金後の加工性を要求される場合には脆い合金層の発達を防ぐためわざわざインヒビターとして Si を入れることがある。Table 2 は Si が Al 浴に添加された時と鋼材中に合金元素として入った場合に生成する合金層の厚さを比較して示したものであるが、この表から Si が Al 浴の中に入っている方が合金層の生成を阻止する割合が大であるということがいえる。合金層の顕微鏡組織は純鉄においては Photo. 1 のように舌状の発達した組織を呈するが、Si が含まれると Photo. 2 のように多少入り組んではいるが帯状に近い形状をなして浸漬時間、温度などには大して影響されない。Al 浴中に Si が添加された場合 1% 程度

では合金層はやゝ舌状をなしているが、3% 以上含まれると全く帯状になり、8~12% 含むものでは塊状の合金層が

Photo. 1 Structure of No. A-1 (Dipping time 15 sec, dipping temperature 800°).

Photo. 2 Structure of No. S-4 (Dipping time 15 sec, dipping temperature 800°).

Al 層へ突出している組織が見られ、合金層の形状の変化に対する Si の影響も Al 浴に入れた方が大きいと考えられる。

(2) Cr, Mn の影響

Si の場合と同様にして C1, C2, M1, M2 の 750° の浸漬時間と合金層の厚さの関係を示したものが Fig. 3 である。図から鋼材中に Cr が含まれると Si と同様合金層の生成を抑制することが判る。すなわち Fig. 4 には比較のため同一浸漬条件の試料 A1 の合金層の厚さをも示したが、A1 と C1, C2 の間には Table 1 に示したように

Fig. 3 Relation between thickness of alloy layer and dipping time for Mn-steel and Cr-steel sheets dipped at 750°.

Cr 以外に C の含有量が異なり、C も鋼材中に含まれていると合金層の生成を抑制するので、この図の試料 A1 と C1, C2 の間の合金層の厚さの相違は鋼材中の Cr の影響もあるが、C の影響もいくぶん含まれていると考えられる。しかし試料 C1 と C2 の間には Cr 以外の化学組成に殆んど差がないためこの間の合金層生成の差は Cr のみの

影響と考えて差支えない。Mn の場合試料 M1 と M2 は Mn と共に C の含有量が異なるので、これより Mn のみの影

Fig. 4 Relation between thickness of alloy layer and dipping time for No. B-1, B-2 dipped at 750°.

×150×2/3
Photo. 3 Structure of No. C-2
(Dipping time 15 sec, dipping temperature 800°)

ぬのであるが逆に発達している。

これは Mn は Cr より合金層の生長を抑制する作用が少いということを示している。なお Cr の入った場合の合金層の形状は Si の場合と異なり、Photo. 3 のように全く帯状で舌状をなしてはいないが、Mn の場合は舌状をなし一見純鉄と同じような形状をなしている。

(3) 軟鋼の合金層について

Fig. 4 は試料 B-1, B-2 の浸漬温度 750° の合金層の生成状況を示したもので、B-1 の JIS 炭素鋼薄板第 2 種に相当するものの方が合金層の生成が少い。合金層の形状はいずれも純鉄と同様舌状の発達した組織で、試料 B-1, B-2 の間に目立つた差は見られない。添加量の少ない場合の C, Si など各種元素の抑制相互作用はいま少し詳しい検討の余地があると思う。

2. 合金層の硬度について

Al 浴に Si を入れた場合 Si % の増加と共に合金層の硬度が低くなり⁽⁴⁾、合金層生成の抑制現象と共に Al 鍍金層の加工性に影響を及ぼすといわれている。著者らは鋼材の

中に合金元素として Si が入った場合も同じように硬度が下るものか否か検討した。Fig. 5 は浸漬時間 15 sec の場

Fig. 5 Effect of Si-content on the Vickers hardness of alloy layer (Dipping time 15 sec).

800° の場合の各浸漬時間における鋼材中の Si % と合金層の硬度との関係も調べて見たが、その実験結果および Fig. 5 から鋼材の中に Si が入ると Al 浴の中に入った時と同様に合金層の硬度が低下することが判るが、浸漬温度、時間の影響については明瞭な傾向は出ない。また Fig. 6 は試料 B1, B2 の軟鋼における合金層の硬度と Al 層からの距離との関係を示したもので、同じ合金層であつても Al 層より遠い部分より Al 層に近い部分の方が硬いことが判るが、この実験結果から硬度低下の有様は漸進的であるか階段的であるかを決めるにはいま少し詳しい検討が必要であると思われる。

Fig. 6 Relation between Vickers hardness distribution and depth from Al layer for No. B-1, B-2.

なおこの図から B2 の Cr ベース軟鋼より B1 の Si ベース軟鋼の方が全般に亘つて軟かいということが出来る。合金層の厚さは前述したように B1 の方が抑制されており、これらの点から他の鍍金層の条件が同じであると試料 B2 より B1 に示されるような組成の軟鋼の方が鍍金後の加工性は良好であると考えられる。

3. 合金層の化学組成について

Table 3 は II で述べた方法によつて得られた合金層の化学組成であるが、これはその試料採取の方法から合金層

(4) M. L. Hughes and D. P. Moses, Metallurgia, (1953), 105.

各部の組成の平均値と考えてよい。従来の研究では高温浸漬法によつて得られる Fe-Al 合金層は大部分が FeAl_3 で

Table 3 Results of chemical analysis of alloy layer.

	Si(%)	Fe(%)	Al(%)	Mn(%)	Cr(%)
A-1	0.40	43.59	56.20	0.01	—
S-1	1.03	42.77	55.96	0.13	—
S-2	1.34	43.31	55.26	0.10	0.01
S-3	2.09	42.53	55.09	0.12	—
S-4	3.08	42.19	54.51	0.11	—
B-1	0.51	43.59	55.51	0.16	—
B-2	0.33	44.17	55.20	0.18	—

一部 Fe_2Al_5 が存在すると考えられていた。 FeAl_3 の化学組成は Fe 40.8%, Al 59.2% で Table 3 に示す化学組成では FeAl_3 の組成よりも幾分 Fe が多く Si, Mn がわずかながら含まれている。また Si を含んだ鋼材において生成する合金層はたとえ Al 浴が純 Al であつても合金層中に Si が含まれ、しかも鋼材中の Si % の増加に伴つて合金層中の Si % も増加していることが判つた。 FeAl_3 , Fe_2Al_5 には Al, Fe, Si 三元素においてもある程度の固溶範囲があるため、Table 3 程度の Si を含んでも K_5 などの Al-Fe-Si 系の化合物が生成されることはなく C のように合金層の発達と共に Si が素材中央部に押しやられ、 Fe_3Si_2 などの Si rich の層が生成されるようなことは見られない。また合金層の組織は Photo. 1, 2 に示したように一相に見え、異相の存在は観察されなかつた。これら合金層の化学組成

と組織の関係については今後なお種々の面から検討を必要とする。

IV. 結 言

高温浸漬法によつてアルミニウム被覆鋼を製造する際の合金層の形成状況、硬度、化学組成などに及ぼす鍍金素材中の合金元素の影響について検討し次の結果を得た。

(1) 素材に Si, Cr, Mn などの合金元素が含まれていると、これらの元素が Al 浴に入つた時と同じように合金層の生長を抑制する。殊に Al 浴に添加して抑制力の強い Si, Cr は素材に合金元素として入つていても強く合金層の生長を抑制する。Mn は Cr に比べて抑制力は弱い。

(2) Al 浴に Si を添加した場合よりも素材に合金元素として入っている方が合金層の抑制力は弱く、合金層の形状も Al 浴に入れた場合は Si 3% 以上で全く帯状となるのに反し、素材に入っている場合は純鉄、軟鋼の場合ほどではないが幾分舌状組織を呈する。

(3) 合金層の硬度は素材に Si が入ると Al 浴の中に入っている場合と同様、Si % に応じて軟らかくなる。また同じ軟鋼であつても B1 に示した Si ベース軟鋼の方が合金層の硬度は軟かく合金層の成長を抑制する。

(4) 純鉄を純 Al 浴に浸漬して得られた合金層の化学組成は FeAl_3 で示される化学組成よりも Fe 分が多い。また素材の Si % に応じて合金層の中にも Si が含まれ、このため C のように合金層の成長と共に素材中央部で Si rich の層が形成されるという現象は見られない。