

研究論文

大韓熔接學會
第4卷第3號, 1986年12月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 4, No. 3, Dec., 1986.

스테인레스鋼 아아크 용射에 있어서의 最適 용射條件에 관한 研究

金永植* · 崔榮國**

A Study on the Optimum Conditions in Stainless Steel Arc Spraying

Y. S. Kim*, Y. G. Choi**

Key Words: Adhesion strength(被膜密着強度), Spraying distance(용射距離),
Wire feed speed(와이어 送給速度), Fused metal temperature(熔融金屬溫度)

Abstract

In this study, the experiments were carried out for the purpose of the clarifying the optimum metal arc spraying conditions, such as spraying distance, wire feed speed, arc current, etc, by using the stainless steel wire ER 308L.

Main results obtained are as follows:

1. Optimum spraying distance is closely related to the equilibrium temperature of base material in back surface.
2. The size of fused metal particles is increased according to the temperature of fused metal.
3. The maximum adhesion strength of coatings is obtained under the optimum spraying conditions of which the temperature of fused metal is maximum.

1. 序 論

아아크 용射은 表面處理法의 一種으로서, 지금으로부터 약 40여년전 독일의 Adolf Shoupe에 의해 開發된 것으로 電氣 아아크를 熱源으로서 金屬材料를 熔融하고, 그 熔融金屬을 壓縮空氣에 의해 素材表面에 噴射하여 表面에 所期의 金屬被膜을 形成시키는 것이다.

이 方法은 他 表面處理法에 비해 作業성이 良好하

고, 比較的 高品質의 被質性能을 低廉한 費用으로 얻을 수 있는 特徵이 있으므로 腐蝕防止, 再生修理, EMI/RFI(電磁石防害/라디오指數防害)防止, 耐熱膜 形成 및 金型製作등 最近 그 用途가 점차 擴大되고 있다.^{1~11)}

그러나 이러한 아아크 용射의 경우, 被膜의 種類에 따른 母材와 被膜의 密着強度를 向上시키기 위한 適正용射條件에 대한 研究는 아직 體系의으로 밝혀져 있지않은 것이 그 大部分이다.

* 정회원, 한국해양대학

** 정회원, 한국해양대학 대학원

本 研究는 陽·陰極 와이어 送給速度를 單獨으로 制御할 수 있는 直流式 아아크 용射裝置를 利用하여 軟鋼母材表面에 스테인레스鋼材를 아아크 용射할 경우, 아아크 電壓, 아아크 電流, 와이어 送給速度 및 용射距離 등의 各 용射條件의 變化에 따른 被膜의 密着強度特性을 調査하고, 그때의 母材裏面의 溫度 및 용射 gun 先端에서의 熔融金屬溫度와의 關係를 比較, 檢討하여 最適 용射條件을 밝히고져 하였다.

2. 實驗方法 및 實驗裝置

2.1 용射裝置

本 實驗에 利用한 定電壓特性의 直流式 아아크 용射裝置의 原理는 Fig.1과 같고, 그 外觀은 Photo.1에 表示하였다.

電氣적으로 獨立된 兩 金屬 와이어를 와이어 送給裝置의 Roller에 의해 용射 gun 안으로 通過시켜 兩 와이어의 끝이 용射 gun 先端部에서 一定한 角度로 마주칠때 아아크가 發生되어 와이어가 熔融하게 되며, 이 순간에 空氣壓縮機에 의해 壓縮된 空氣젯트에 의해 母材表面에 熔融金屬을 微粒子로 噴射시켜 所期의 被膜을 얻도록 하였다. 이때 壓縮空氣의 壓力은 全體 實驗에 있어서 5kg/cm^2 으로 一定하게 維持하였다.¹²⁾

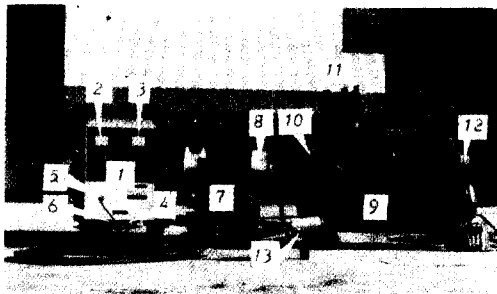


Photo.1 Arc spray system.

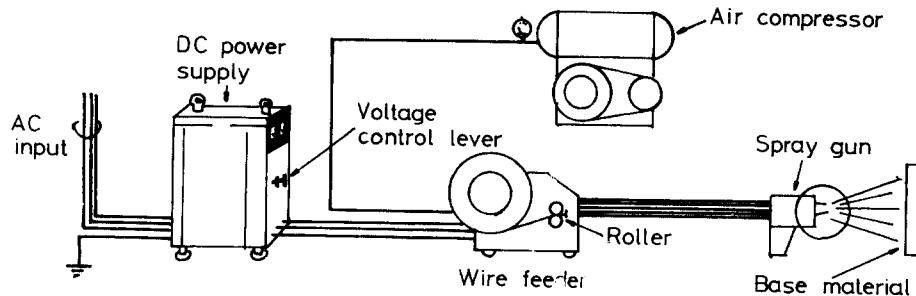


Fig.1 Schematic diagram of the arc spraying.

2.2 용射材 및 試驗片

本 實驗에서는 용射材로서 耐蝕性和 耐摩耗성이 優秀한 直徑1.2mm의 ER308L 스테인레스 와이어를 使用하였고, 母板과 試驗片은 一般 軟鋼材인 SS-41鋼材를 使用하였다. 그 各各의 化學的 成分과 機械的 性質을 Table 1에 나타내었다.

또한 母板과 試驗片의 形狀 및 치수는 Fig.2에서 보이고 있다. Fig.2(a)는 母板으로서 $5 \times 100 \times 200$ mm가 되게 機械加工하여 그 中心에 直徑 15mm가량의 구멍을 穿孔하고, 그곳에 Fig.2(b)와 같은 形狀으로 加工한 引張試驗片을 挿入하여 母板上面과 試驗片上面이 일치되도록 하였다. 그런다음 그 上面을 Fig.2(a)의 下側과 같은 形狀으로 세이퍼加工하여 粗面化하였다. 이후 이것을 벤젠에 24時間동안 침지시켜 表面에서의 密着性을 저해하는 鑛油과 같은 油脂類나 먼지등의 汚物들을 溶劑洗淨하였다.¹³⁾

2.3 被膜密着強度 試驗方法

實驗에 使用된 被膜密着強度 試驗裝置는 本 研究室에서 製作한 것으로서, 그 外觀 및 概略圖는 各各 Photo.2, Fig.3에서 表示한 바와 같고, 워엄 및 워엄기어를 利用한 機械式 原理로 作動되도록 하였다.

準備된 試驗片을 母板에 挿入하여 母板上面과 試

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. DC power supply | 8. Roll wire |
| 2. Voltmeter | 9. Air compressor |
| 3. Ammeter | 10. Pressure gauge |
| 4. Negative cable | 11. Air filter |
| 5. Control cable | 12. Pressure controller |
| 6. Positive cable | 13. Arc spray gun |
| 7. Wire feeder | |

Table.1 Chemical composition and mechanical properties

Materials	Chemical composition (Wt %)								Mechanical properties	
	Mn	Cr	Si	Ni	C	P	S	Fe	Ts(kg/mm ²)	El(%)
ER 308L	1.90	20.6	0.32	10.2	0.02	—	—	Res	61	45
SS 41	0.54	—	0.22	—	0.19	0.02	0.015	Res.	43	28

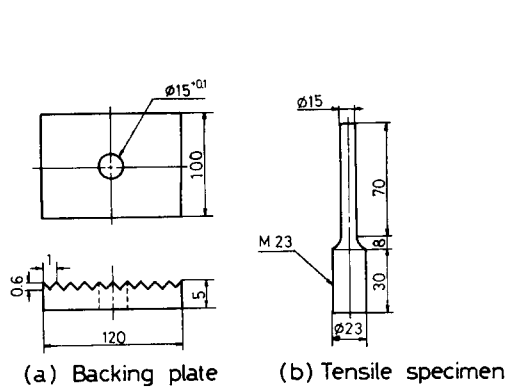


Fig.2 Shape of backing plate and specimen.

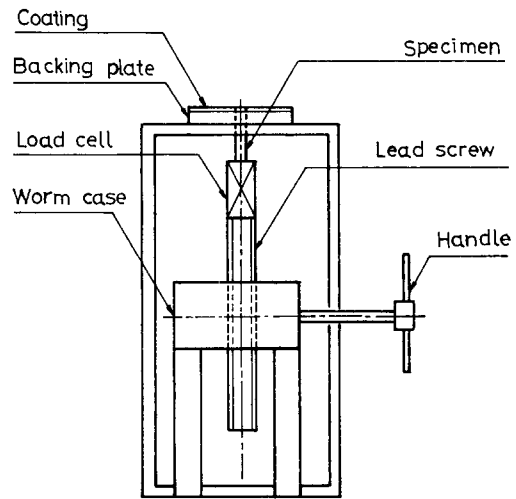
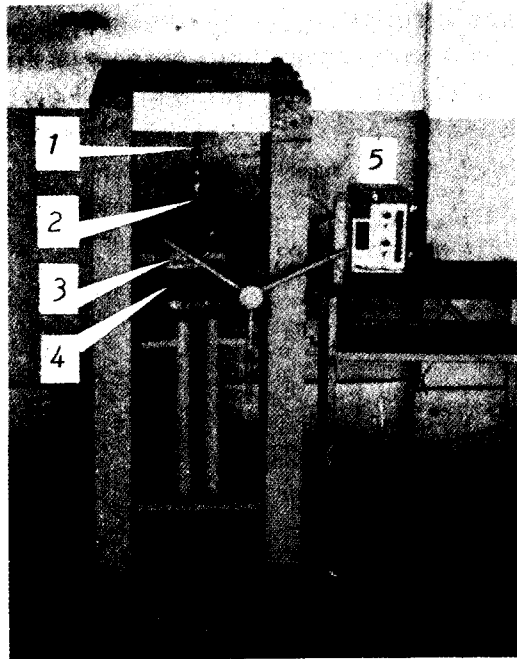


Fig.3 Schematic diagram of adhesion strength test.



- 1. Load cell
- 2. Lead screw
- 3. Worm case
- 4. Worm & worm gear
- 5. Strain meter

Photo.2 Adhesion strength test apparatus.

驗片上面이 一致되도록 한 후, Fig.4에서와 같이 母板上面에 各種의 熔射條件으로 熔射를 行하고, 그 表面을 加工하여 被膜두께를 2mm로 일정하게 되도록 하였다. 그리고 이것을 被膜密着強度 試驗裝置에 裝着시켜 熔射被膜과 試驗片이 破斷될때까지 引張하고 그때의 破斷應力을 被膜密着強度로 하였다.

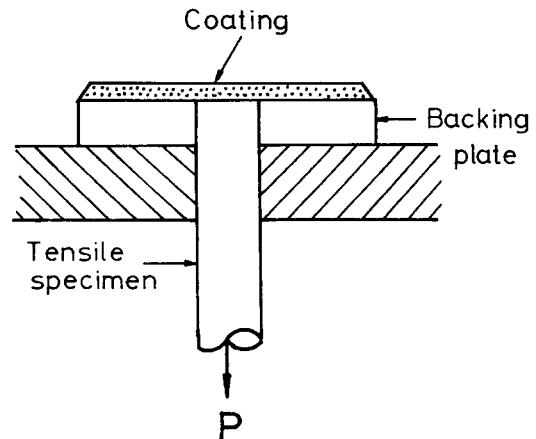


Fig.4 Tensile adhesion strength test.

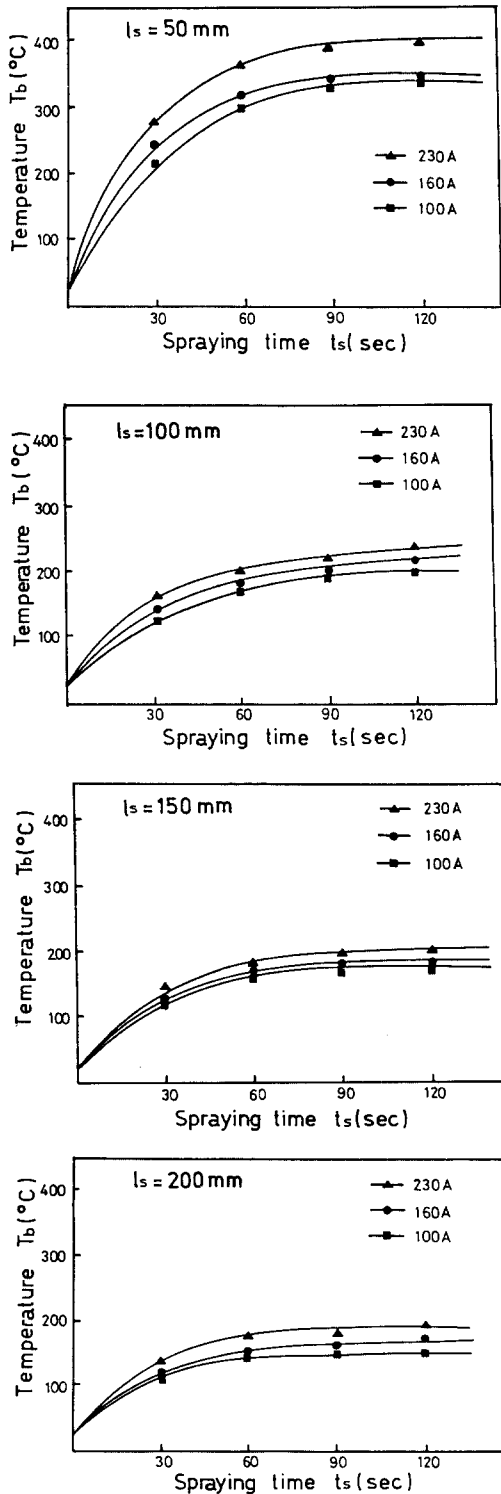


Fig. 5 Variations of base material temperature following the spraying distance.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 熔射距離에 따른 母材裏面의 溫度特性

Fig. 5는 5×100×200mm의 軟鋼母材面에 스테인레스鋼 아아크 용사를 開始하고부터 2分間, 母材의 裏面中央에 接合한 백금-로듐 열전대에 의해 測定한 溫度結果를 各各의 熔射距離에 대해 作動電流를 變數로 하여 表示한 것이다.

이것에 의하면 最近接 熔射距離인 50mm에서는 熔射時間의 經過와 더불어 溫度上昇이 매우 急激하여 熔射開始로부터 2分이 經過한 후, 作動電流 230 Amp에서는 400°C, 100A에서는 약 340°C에 達하고 있다. 그러나 熔射距離가 150mm로 되면, 溫度上昇은 다소 緩慢하게 되어 230A에서 약 200°C, 100A에서 160°C以下로 되는 것을 알 수 있다. 이러한 傾向은 熔射距離가 멀어질수록 더욱 뚜렷이 나타나고 있다.

3.2 母材裏面溫度와 被膜密着強度와의 關係

Fig. 6은 아아크 電壓을 40V로 一定하게 하고, 熔射距離를 各各 50, 100, 150, 200mm로, 아아크 電流를 100, 160, 230A로 變化시켜 熔射을 行한 경우에 얻어진 被膜密着強度와 母材裏面의 最終 平衡溫度를 比較하여 나타낸 結果이다.

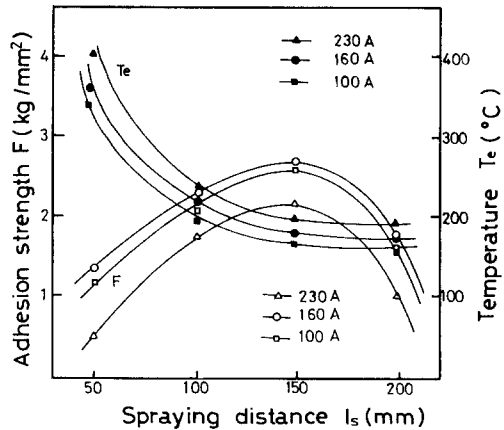


Fig. 6 Relationships between spraying distance and adhesion strength.

破線으로 表示된 것이 平衡溫度曲線이며, 實線으로 表示된 것이 被膜密着強度曲線이다. 이 結果에 의하면 어느것이냐 熔射距離가 150mm 근방으로 接合함에 따라 被膜密着強度는 上昇하고 있으나 反面

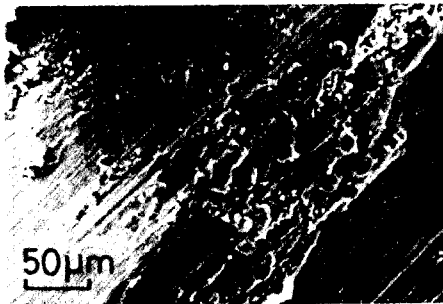
에 母材裏面의 平衡溫度는 下降하고 있으며, 熔射距離 150mm에서 被膜密着強度는 最大로 되고, 母材裏面平衡溫度는 거의 一定한 값을 갖기 시작하게 됨을 나타내고 있다. 이후 熔射距離가 150mm를 지나 점차 멀어짐에 따라 被膜密着強度는 다시 低下하고 있으며, 平衡溫度는 거의 變化가 없이 一定하게 되고 있음을 알 수 있다.

Photo. 3과 Photo. 4는 熔射距離를 各各 50, 150, 250mm로 變化시켜 熔射를 行하였을때의 微視的 破面樣相과 母材와 熔射被膜境界部의 斷面을 各各 走査型 電子顯微鏡과 金屬顯微鏡을 使用하여 觀察한 것이다.

熔射距離 50mm의 경우, 剝離된 母材表面에서는 多量의 酸化물이 觀察되고 있으며, 粒子和 粒子사이 母材와 被膜사이에서는 剝離現象이 觀察되고 있다. 그리고 熔射距離 150mm의 경우에는 少量의 氣空과 酸化물이 觀察되었으나 剝離現象은 보이지않고 粒子和 粒子, 母材와 被膜이 比較的 良好하게 結合하고 있음을 알수가 있다. 또 熔射距離가 250mm인 경우에는 剝離된 母材面에서는 多量의 酸化물은 觀察되지 않았으나 粒子内部와 表面에 多量의 酸化물이 介在하고 있으며 母材와 被膜의 境界部 및 粒子和 粒子 사이에 多量의 氣空이 觀察된다.

이상과 같이 熔射距離에 따라서 氧化物, 剝離, 氣孔등이 달라지고 있는 現象에 대해서는 다음과 같이 考察된다.

즉 지나치게 近接한 熔射距離에서는 母材의 溫度上昇이 過度하게 되어 母材의 變形이 커지고, 母材面上에서는 多量의 氧化物이 生成됨으로 말미암아 被膜과 母材面 境界部에서 剝離現象이 쉽게 일어나게 된다. 그리고 지나치게 먼 熔射距離에 있어서는 衝突速度가 低下되고, 粒子의 지나친 冷却으로 인해 被膜의 結合狀態가 不良할 뿐만 아니라, 粒子사이에 多量의 氧化物이 介在됨으로써 被膜密着性이 低下되는 것으로 思料된다.



(a) $l_s = 50 \text{ mm}$

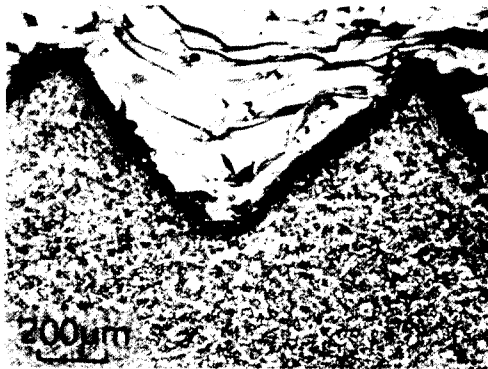


(b) $l_s = 150 \text{ mm}$

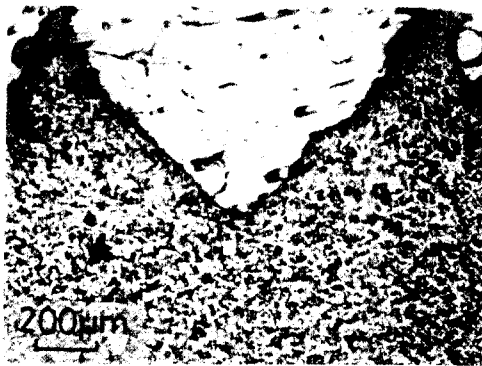


(c) $l_s = 250 \text{ mm}$

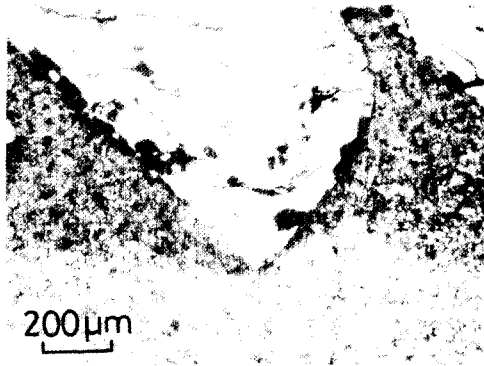
Photo. 3 Fractographs of fracture surface (SEM)



(a) $l_s = 50 \text{ mm}$



(b) $l_s = 150 \text{ mm}$



(c) $l_s = 250 \text{ mm}$

Photo. 4 Appearance of interface between Coating and Base material in various arc spraying distances.

3.3 熔融金屬溫度가 被膜密着強度에 미치는 影響

용射 gun 先端部에서의 熔融金屬溫度를 直接的으로 測定한다는 것은 매우 어려우므로 本 實驗에서는

入熱條件으로부터 推定하였다.¹⁴⁾

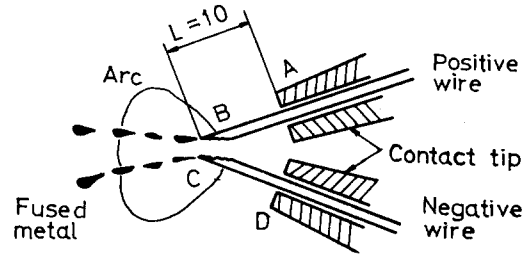


Fig. 7 Schematic illustration of arc spraying.

Fig. 7은 용射gun 先端部에 있어서의 와이어의 熔融狀態를 나타낸 것이다. 陽·陰極 와이어를 熔融하기 위해 B 및 C點 근방에 供給되는 單位重量當 全入熱量 Q_i (J/g)은 다음과 같은 式으로 나타내어질 수 있다.

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

여기서

Q_1 ; 陽極 및 陰極의 發熱量(J/g)

Q_2 ; A, B 및 C, D間의 電氣抵抗에 의한 發熱量(J/g)

Q_3 ; 아아크로부터의 傳達熱量(J/g)

그러나 實驗에 의하면 와이어의 送給速度가 아아크로부터의 熱傳達速度에 비해 매우 큰 경우에는 Q_3 는 無視할 수 있다.¹⁵⁾ 또 와이어 突出部에 對한 壓縮空氣의 冷却作用도 와이어 送給速度가 큰 경우 無視할 수 있다면, (1)式은

$$Q_i = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

$$= V_m \cdot I_m / M_w + 2R \cdot I_{av}^2 / M_w \quad (3)$$

$$= \left(\frac{5}{12} \pi D^2 \rho \right) (V_m \cdot I_{av} / V_s + 2R \cdot I_{av}^2 / V_s) \quad (4)$$

으로 된다.

여기서

D ; 와이어의 直徑(cm)

ρ ; 와이어의 密度(g/cm³)

V_m ; 熔融等價電壓(V)

I_{av} ; 平均아아크電流(A)

M_w ; 와이어 送給量(g/s)

V_s ; 와이어 送給速度(m/min)

R ; 와이어 突出部の 電氣抵抗(Ω)

또한 熔融金屬의 溫度 T_i 는 다음 式으로 구할 수 있다.

$$T_i = T_m + \{Q_i - C_1(T_m - T_r) - Q_m\} / C_2 \quad (5)$$

여기서

T_m ; 熔射材의 融點($^{\circ}\text{C}$)

- T_r ; 熔射前 와이어의 溫度(°C)
- Q_m ; 熔射材의 熔融潛熱(J/g)
- C_1 ; 融點以下에서의 熔射材의 平均比熱 (J/g·deg)
- C_2 ; 融點以上에서의 熔射材의 平均比熱 (J/g·deg)

그리고 計算에 利用된 熔射材(ER308L)의 物性值는 Table 2에 表示하였다.

Table 2 Physical Properties of Spraying Material

Spraying Material	ER 308L
V_m (V)	17.25
(Ω)	9.7×10^{-3}
T_m (°C)	1400
Q_m (J/g)	272
T_r (°C)	20
C_1 (J/g. deg)	0.63
C_2 (J/g. deg)	0.63
ρ (g/Cm ³)	8.0

와이어 送給速度의 變化에 따른 熔融金屬의 全入熱量 Q_i 와 熔融金屬溫度 T_i 의 變化를 以上과 같은 (4)式과 (5)式을 통하여 구하고, 이것과 被膜密着強度 F 와의 關係를 나타내면 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

Q_i , T_i 및 F 는 와이어 送給速度에 의해 變化하고 있으며, 와이어 送給速度 $V_s=5m/min$ 에서 어느것도 最大로 되고있다.

以上の 結果로부터 被膜의 密着強度에 대한 熔融

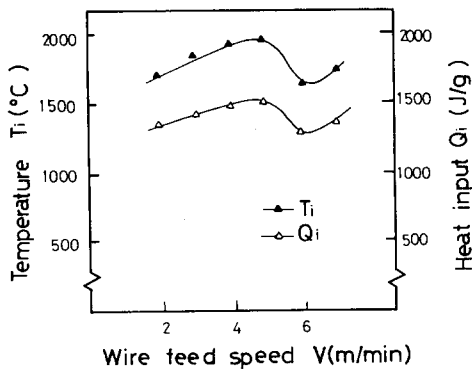


Fig. 8 Relationships between heat input of fused metal and fused metal temperature.

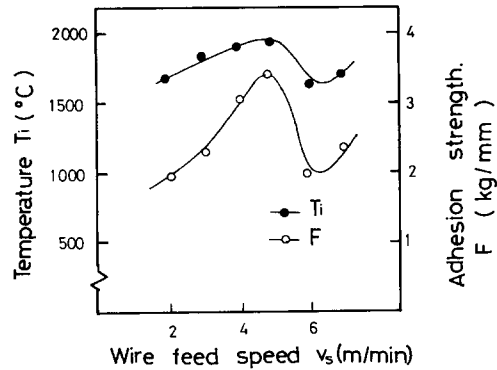


Fig. 9 Fused metal temperature and adhesion strength vs. wire feed speed.

金屬溫度의 影響에 대해서는 다음과 같이 考察된다.

被膜密着強度 F 와 熔融金屬溫度 T_i 가 와이어 送給速度條件에 대해 동일한 變化傾向을 나타내고 있는 것으로부터 熔融金屬溫度 T_i 가 높게 될수록 被膜密着強度 F 도 높게 됨을 알 수 있다. 또 T_i 는 (5)式으로부터 와이어의 單位重量當 全入熱量 Q_i 에 의해 左右되며, Q_i 가 높게 되면 T_i 도 높게 되고 있다. 따라서 Q_i 가 最大로 되는 와이어 送給速度條件에서 熔融金屬溫度 T_i 와 被膜密着強度 F 는 最大로 된다.

Photo. 5는 와이어 送給速度를 各各 2, 5, 6m/min으로 變化시켜 熔射를 行하였을 때의 被膜과 母材面境界部 斷面의 金屬顯微鏡 寫眞이다.

이에 의하면, 와이어 送給速度가 2m/min 및 6m/min의 경우에는 낮은 熔融金屬溫度로 인해 粒子가 不完全하게 熔融하여 被膜内部에 球狀의 작은 熔融粒子가 多數 存在하고 있으며, 또한 被膜内部와 母材面에서는 이로 인한 多量의 氣孔과 酸化물이 觀察되고 있다. 그러나 이것에 반해 가장 높은 熔融金屬溫度가 얻어지는 와이어 送給速度인 5m/min의 경우에는 球狀의 不完全 熔融粒子는 觀察되지않고 粒子가 完全히 熔融하여 퍼짐성이 良好하고 比較的 크기가 크게 形成되어 母材面에 잘 密着하고 있음이 觀察된다. 또한 他 條件에 비해 5m/min의 경우에는 被膜内部와 母材面에서 氣孔이나 酸化물이 가장 적게 나타나고 있다.

이것은 熔融金屬의 溫度가 높게 되는 熔射條件에서는 熔融粒子의 크기가 增大되며, 粒子의 크기가 增大될수록 粒子의 表面酸化量은 적게되며, 또한 飛行中の 冷却도 적게되어 높은 溫度의 粒子가 母材面에 부착하게 된다. 그리고, 粒子가 커지게 되면 熔融粒子 1개의 衝突에너지도 높게되어 被膜密着強度의 向

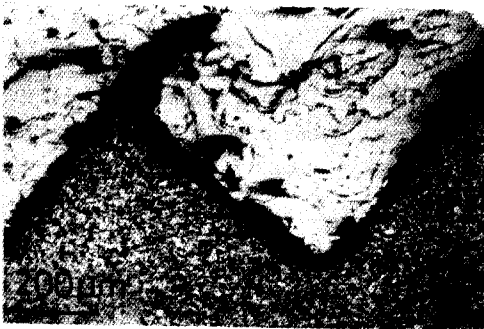
상에 기여하게 되는 것으로 推定된다.



(a) $v_s = 2 \text{ m/min}$



(b) $v_s = 5 \text{ m/min}$



(c) $v_s = 6 \text{ m/min}$

Photo. 5 Appearance of interface between coating and base material in various wire feed speeds.

4. 結 論

스테인레스 와이어(ER308L)를 용射材로 하여 용射距離, 와이어 送給速度, 등의 용射條件을 變化시켜 용射를 行하고 被膜의 密着強度와 그때의 母材表面의 溫度 및 熔融金屬溫度 등을 서로 比較, 檢討하

여 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 最適 용射距離는 母材表面에 있어서의 平衡溫度와 密着한 關係가 있다.

(2) 熔融金屬의 粒子크기는 熔融金屬의 溫度가 增加함에 따라 增加하고 있다.

(3) 被膜의 最大 密着強度는 熔融金屬의 溫度가 最大로 되는 條件下에서 얻어졌다.

本 研究를 遂行함에 있어 용射裝置를 대여해 주신 極東電機電子機 製作所 金鍾麟 社長님께 깊은 謝意를 표합니다.

參 考 文 獻

- 1) 蓮井淳; 溶射工學, 養賢堂, pp. 1~194(1976)
- 2) 蓮井淳; 最近の溶射技術, 11月號, pp. 19~33 (1984)
- 3) 關, 石川; 溶射技術의 適用と問題點, 日本機械學會誌, Vol. 82, No. 724, pp. 270~275(1979)
- 4) 內田; 材料에 對する溶射, 材料科學, Vol. 15, No. 1, pp. 29~35(1978)
- 5) 石川, 關; 溶射による耐熱被覆의 現狀防食技術, Vol. 26, No. 6, pp. 313~326(1977)
- 6) 秋本; 아크溶射皮膜의 考察, 溶射協會誌, Vol. 16, No. 1, pp. 17~24(1979)
- 7) TAFA; TAFA Arc Spray technical data(1983)
- 8) 蓮井, 北原, 東; 金屬材料技術研究所研究報告, Vol. 7, No. 4, pp. 319~327(1964)
- 9) 川瀨, 暮石, 前原; 아크溶射에 於ける아크現象とワイヤ熔融-아크溶射法에 關する研究(第2報), 溶接學會論文集, Vol. 2, pp. 280~285(1984)
- 10) AWS; Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes, Welding Handbook, Vol. 3, Miami pp. 375~376(1980)
- 11) AWS; Guide for thermal spray operator and Equipment Qualification, Miami, p. 73(1978)
- 12) KS D 9523-1973.
- 13) 蓮井淳, 森垣甫; 肉盛溶接·溶射, 現代溶接技術大系, Vol. 15, pp. 161~172(1978).
- 14) 川瀨, 暮石; 아크溶射에 於ける熔融金屬溫度-아크溶射法에 關する研究(第3報), 溶接學會論文集, Vol. 2, No. 3, pp. 412~417(1984)
- 15) 安藤, 長谷川; 溶接아크現象, 産報出版, p. 327(1976)