

오스테나이트系 스테인레스鋼 熔射被膜의
熱處理 效果에 관한 研究

A study on the thermal treatment effect of
austenite stainless steel coating film.



韓國海洋大學 船舶機械工學科 4年

이진수 · 최재욱

目 次

1. 序論

2. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 金屬學的 考察

- 2-1. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 性質 및 特徵
- 2-2. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 狀態圖
- 2-3. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 TTS曲線

3. 實驗方法

- 3-1. 熔射材 및 試驗片
- 3-2. 아다크 熔射裝置
- 3-3. 熔射條件 및 熱處理 方法

4. 實驗結果 및 考察

- 4-1. 熔射被膜의 Micro組織
- 4-2. 熔射被膜의 厚도분포

5. 結 論

參考文獻

1. 序論

金屬材料은 各種의 사용 환경 하에서 필요 시간 동안 所期의 성능을 유지 하는 것이 要求된다. 그러나 최근 들어 기틀 환경 들은 機械設備의 대 형화, 고속화, 고능률화에 따라 점차 高級화 되었다. 이 러한 추세에 부응 하여 金屬材料는 高合金材料나 新素材 등 高級材料가 사용됨으로 해서 제조원가의 과증을 면치 못하고 있다. 따라서 高級 값싼 材料에 代替 하여 省가 절감 하는 方法의 研究 開發 되고 있다.

아아크 熔射法은 이러한 표면처리 기술의 하나로 靚기 아아크를 열원으로서 사용 하여 金屬材料를 熔融하고 그 熔融金屬을 고압의 공기 여의해 素材表面에 분사시켜 所期의 金屬被膜을 형성 시키는 것이다.

이 방법은 他 表面處理法에 比해 작업성이 양호하고 비교 적 저렴한 비용으로 고품질의 被質性 재생수리, 금형 제작 등 최근 그 용도가 점차 확대 되고 있다.¹⁻⁸⁾

그런데 이러한 아아크 熔射의 경우 被膜의 機械的性質, 내열성, 내식성 등을 개선할 目的으로 熱處理를 행하는 경우가 있다.²⁾

그러나 이러한 熱處理被膜에 있어서 熔融溫度, 냉각속도 효과 등 熔融被膜의 機械的性質에 영향 을 미치는 熱處理효과에 대한 充分한 研究가 아직 이루어져 있지 않은 실정이다.

따라서 본 研究에서는 오스테나이트系 스테인 레스 鋼材를 熔射材料로 하여 熔射를 행하고 그 熔射被膜을 熱處理 하였던 때 냉각속도의 변화에 따른 被膜의 특성 변화를 비교, 검토하고자 하였다.

2. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 金屬學的 考察

2.1. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 性質 및 特徵

오스테나이트系 스테인레스鋼은 Fe-Cr-Ni系 혹은 Fe-Cr-Ni-Mn系로서 組織이 상온에서 γ (오스테나이트組織)로 되는 범위의 것이다. Fig.1은 스테인레스鋼의 Schaeffler의 조직도로서 횡축은 Cr當量, 종축은 Ni當量으로 鋼의 각 원소 함유량을 Cr 및 Ni로 當量화시킨 것이다. 이 양 원소 當量の 種, 횡축의 교차점이 각각의 조직이다³⁾

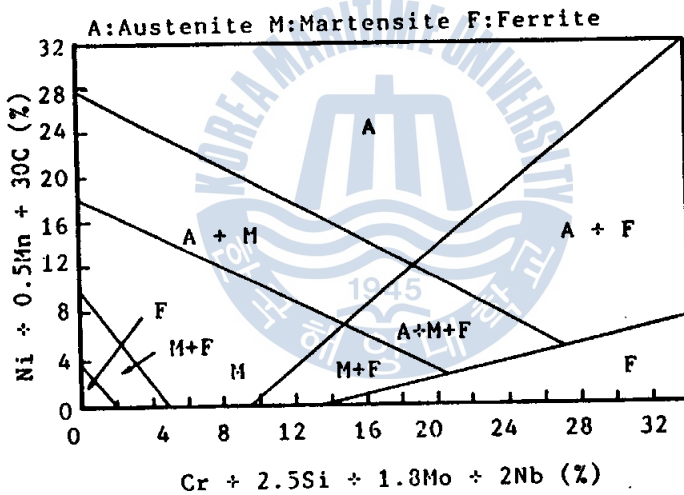


Fig.1 Schaeffler's structure diagram

이 鋼種은 오스테나이트 조직이기 때문에 非磁性이고 담금질硬化성이 없으며, 인성이 크고 가공성이 용이하 며 용접성도 좋다. 산화성 환경의 부식에는 특히 강하고 저온, 고온에서의 성질도 우수하여 아주 넓은 용도에 쓰이고 있다.

1) 내식성 ; 스테인레스鋼의 내식성은 거의 부동태에 좌두되는 것이 많고 부동태가 유지되지 않는 환경에서는 매우 복잡한 부식현상을 일으킨다. 스테인레스鋼의 부동태는 표면에서 Cr을 함유한 산화피막에 의한 것으로 실용되어

지고 있다.

2) 내열성; 스테인레스鋼은 Cr을 함유하기 때문에 일반鋼, 저합금鋼에 비해 고온부식에 대한 저항성이 크고 또한 오스테나이트系는 고온강도도 크기 때문에 내열강으로도 이용되는 경우가 많다.

2-2. 오스테나이트系 스테인레스鋼의 狀態圖

Fig. 2는 20% Cr-10% Ni-Fe-C合金의 切断狀態圖를 나타내고 있다.

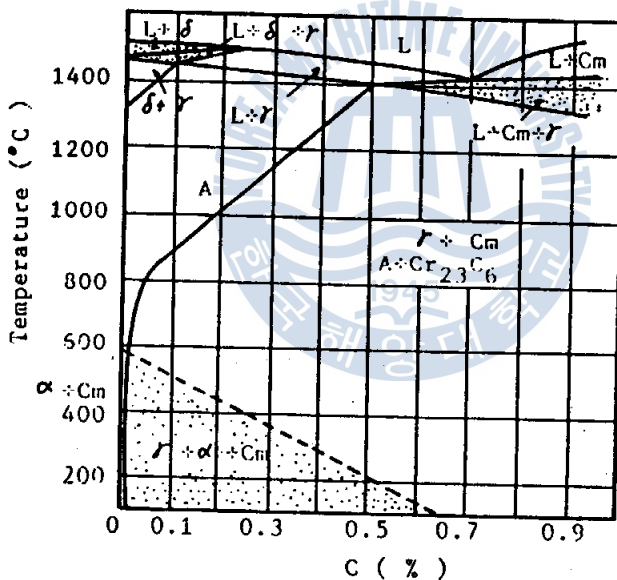


Fig.2 20Cr-10Ni-Fe-C phase diagram

여기에서 1200°C에서 C의 溶解度는 0.34%, 1000°C에서는 0.18%이기 때문에 308L의 C 0.02% 이하의 C는 전부 δ(오스테나이트 組織)에 固溶하고 있다.

그러나 600°C에 있어서 C의 固溶度는 0.02%로 상온에서는 매우 낮다. 따라서 시서히 냉각하면 C는 탄화물로서 析出되고 있다. C의 석출은 탄소원자의 원자반경이 작으므로 해서 固溶限度를 넘는 탄소는 오스테나이트粒内에는 존재할 수 없게 되어 粒界에 析出하게 된다.

Cr₂₃C₆는 Fe를 일부 포함하기 때문에 (Fe, Cr)₂₃C₆의 형태로 존재한다. 증량 %로서 탄소의 약 10배의 Cr이 탄화물로 되기 때문에 粒界부근의 Cr이 탄소의析出로 결핍되고 부동태를 일으키기 어렵게 된다. 또 전위도 저하하기 때문에 粒界만이 우선적으로 부식하는 상태로 된다. Cr 원자는 원자반경이 커서 많은 양이 이 결핍층에 확산할 수가 없기 때문에 이러한 현상이 일어나게 된다. 이와같은 상태를 銳敏化 (Sensitization) 라고 한다.

2-3. 오스테나이트系 스테인 레스 鋼의 TTS 曲線

銳敏化와 시간의 관계를 나타낸 그림을 TTS 曲線 (Time temperature sensitization curve) 이라고 부른다.

Fig 3은 SUS 27 鋼의 TTS 曲線이다. 이 그림은 일정한 온도에서 횡축의 시간동안 유지하여 급냉시킨 것이 銳敏化하는가 여변가를 나타낸 것이다.

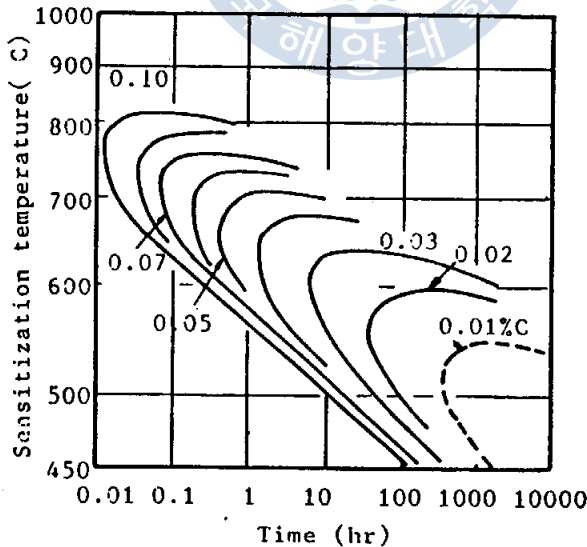


Fig.3 Austenite stainless steel TTS curve

이에 의하면 C 0.07%의 보철의 SUS27은 700°C에서 4~5분에서 銳敏化하는 것에 대해 C 0.03%의 SUS27은 600°C에서 8시간 정도 경과하지 않으면 銳敏化하지 않는다. 탄소가 높을수록 銳敏化하기 쉽다. 이 그림은 부터 판단할 수

있다. 또 曲線의 상부 특이 시간의 경과와 더불어 저하하는 것은 시간이 지남에 따라 Cr의 結晶粒 内部로 부터 粒界로 확산하기 때문이다. 탄소가 낮은 것일 수록 이 확산의 영향이 빨리 일어나기 때문에 NOse 온도 (가장 빨리 銳敏化하는 온도) 도 저하하고 있다.

3. 實驗方法

3-1. 熔射材 및 試驗片

本 實驗에 있어서 熔射材는 내식성과 내마모성이 탁월한 직경 1.2 mm의 ER 308L 오스테나이트계 스테인레스 와이어를 使用하였고 試驗片은 일반 軟鋼材인 SS-41 鋼材를 使用하였다. 그 각각의 化學的 性分과 機械的 性質을 Table 1 에 나타내었다.

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 308 L	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

또한 試驗片의 形狀 및 치수는 Fig.4에서 보이고 있다. Fig. 4 (a)와 같이 50 x 100 mm 가 되는 시편을 機械 加工하고 Fig. 4 (b)와 같은 形狀으로 그 표면을 조연화 하였다. 이쪽 이것을 24시간 동안 용액에 침지시켜 素材表面 세시의 광유와 같은 유지류나 먼지 등의 오염을 용제 세정 하였다.

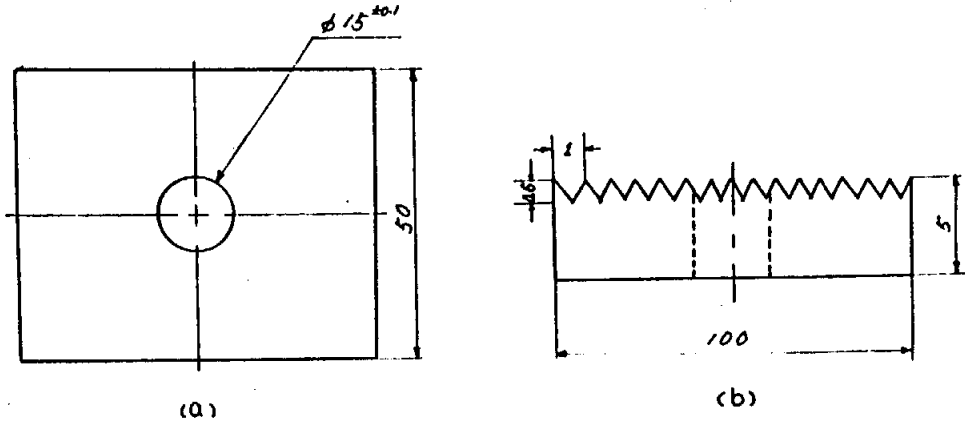
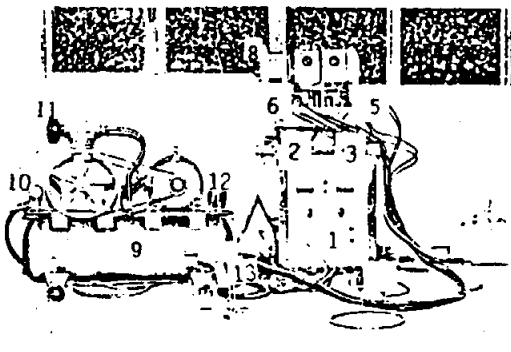


Fig. 4 Shape of specimen

3-2. 아아크 용射裝置

Fig. 5와 photo. 1은 本實驗에 利用한 아아크 용射裝置의 개략도 및 그 外觀을 나타낸 것이다. 定電壓特性의 直流電源을 利用하여 電氣的으로 高壓를 陽, 陰極사이의 電極間격을 각각 단축으로 제어할 수 있는 와이어 송급장치에 의해 와이어가 송급되고 두 와이어의 끝이 熔射 Gun 선단부에서 서로 일정한 각도로 마주칠 때 아아크가 발생하여 와이어가 熔融된다. 이 순간에 공기압축기로서 공기젯트에 의해 이 熔融金屬을 미립자상으로 素材表面에 분사시켜 所期의 被膜을 形成시킬 수 있도록 하였다.



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

Photo.1 Arc spray system

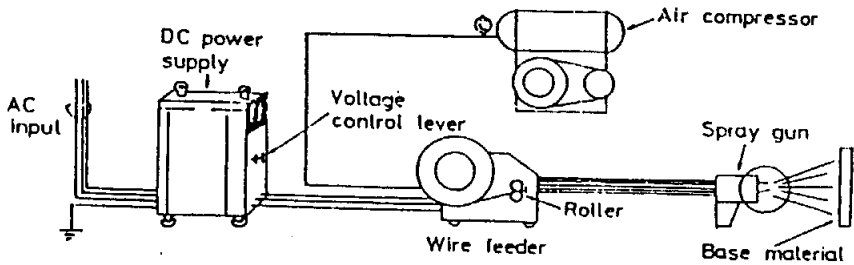


Fig.5 Schematic diagram of the arc spraying

3-3. 熔射條件 및 熱處理 方法

本 實驗에서는 정전압 특성의 直流式 아아크 용사장치를 利用 하였으며, 이 때의 熔射條件은 Table 2 에 나타내고 왔다.

Table 2 Arc spraying condition

분사 공기압 P_a (kg/cm ²)	5
Arc 전압 V_a (V)	35
Arc 전류 I_a (A)	100
용사거리 l_s (mm)	150

열처리 조건은 熔射후 작성된 試驗片表面을 연속하여 피막두께가 2mm가 되도록 하고 이렇게 가용된 試片들 전기로에 장입하여 熱處理 溫度 850°C에서 3시간 유지후 노냉, 공냉 및 수냉하는 조건으로 하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 熔射被膜의 Micro 組織

photo. 2는 試驗片 횡단면들 금속 현미경으로 관찰한 것으로 HNO_3 , CH_3COOH 의 혼합부식액을 使用,



사진이다.

photo. 2에서 알수 있는 바와 같이 熔射한 그 대로의 狀態에서 熔射被膜組織은 백색의 被膜粒子和 粒子境界部에서 짙은 회색의 酸化物과 기공으로 구성되어 있음을 볼 수 있다.



(a) as sprayed



(b) furnace cooling



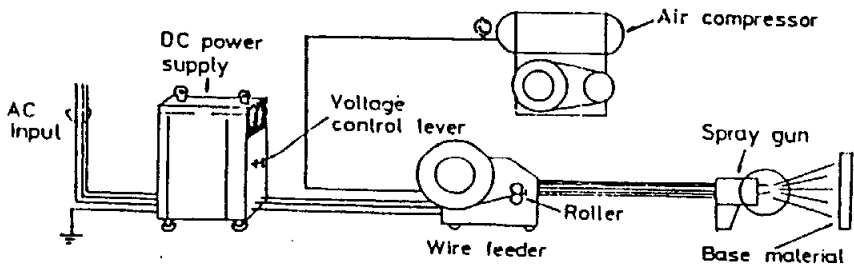


Fig. 5 Schematic diagram of the arc spraying

3-3. 熔射條件 및 熱處理 方法

本 實驗에서는 정전압 특성의 直流式 아아크 용사장치를 利用 하였으며, 이 때의 熔射條件은 Table 2 에 나타내고 있다.

Table 2 Arc spraying condition

분사 공기압력 (kg/cm^2)	5
Arc 전압 V_{av} (V)	35
Arc 전류 I_{av} (A)	100
용사거리 l_s (mm)	150

열처리 조건은 熔射후 작성된 試驗片表面을 연삭하여 피막두께가 2mm가 되도록 하고 이렇게 가공된 試片을 전기로에 장입하여 熱處理 溫度 850°C 에서 3시간 유지후 노냉, 공냉 및 수냉하는 조건으로 하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 熔射被膜의 Micro 組織

photo. 2 는 試驗片 횡단면들 금속현미경으로 관찰한 것으로 HNO_3 , CH_3COOH 의 혼합부식액을 使用, 부식한 후 400배의 배율로 촬영한 Micro 組織

사진이다.

Photo. 2에서 알수 있는 바와 같이 熔射한 그대로의 狀態에서 熔射被膜組織은 백색의 被膜粒子和 粒子境界部에서 짙은 회색의 酸化合物과 기공으로 구성되어 있음을 볼 수 있다.



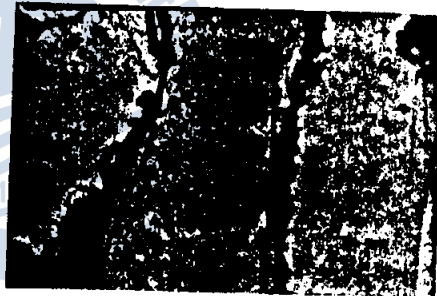
(a) as sprayed



(b) furnace cooling



(c) air cooling



(d) water cooling

Photo. 2 Transverse cross section micro structure of coating film (X 400)

그러나 노병을 하엿을 경우 이러한 被膜組織은 熔射한 그대로의 組織과는 달리 被膜粒子和 結晶粒境界에 회색의 析出物이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 광학현미경에 의해 확인 될 수 있으나 냉각 과정에서 오스테나이트중에 固溶하고 있던 탄소가 크롬이 풍부한 $(Cr, Fe)_7C_3$, $(Cr, Fe)_6C$, $(Cr, Fe)_2C$ 등의 탄화물이 被膜粒子和 結晶粒境界에 析出되는 것을 경도분포측정에 의해 추정할 수 있다. 冷却速度가 비교적 빠른 공냉이나 수냉의 경우에 있어서의 冷却速度가 느린 노병의 경우와는 달리 이러한 被膜粒子和 結晶粒境界에서의 탄화물 析出현상은 거의 관찰되지 않았다. 앞서 시술한 오스테나이트系 스테인레스鋼 熔射被膜의 熱處理 과정에 있어서, 노병에 의한 크롬 탄화물의 結晶粒境界 析出은 그

析出部 근방의 크롬 농도를 저하시켜 粒界부식이나 용접부 부식을 일으킬 것으로 사료된다.

4-2. 熔射被膜의 경도 분포.

Fig 6은 熔射被膜의 경도 분포를 나타낸 것으로 경도측정은 Micro Vickers 경도기를 사용하여 試材에서 熔射被膜까지를 0.2mm 간격으로 연속측정 하였으며 하중 500gf, 시간은 15초로 하였다.

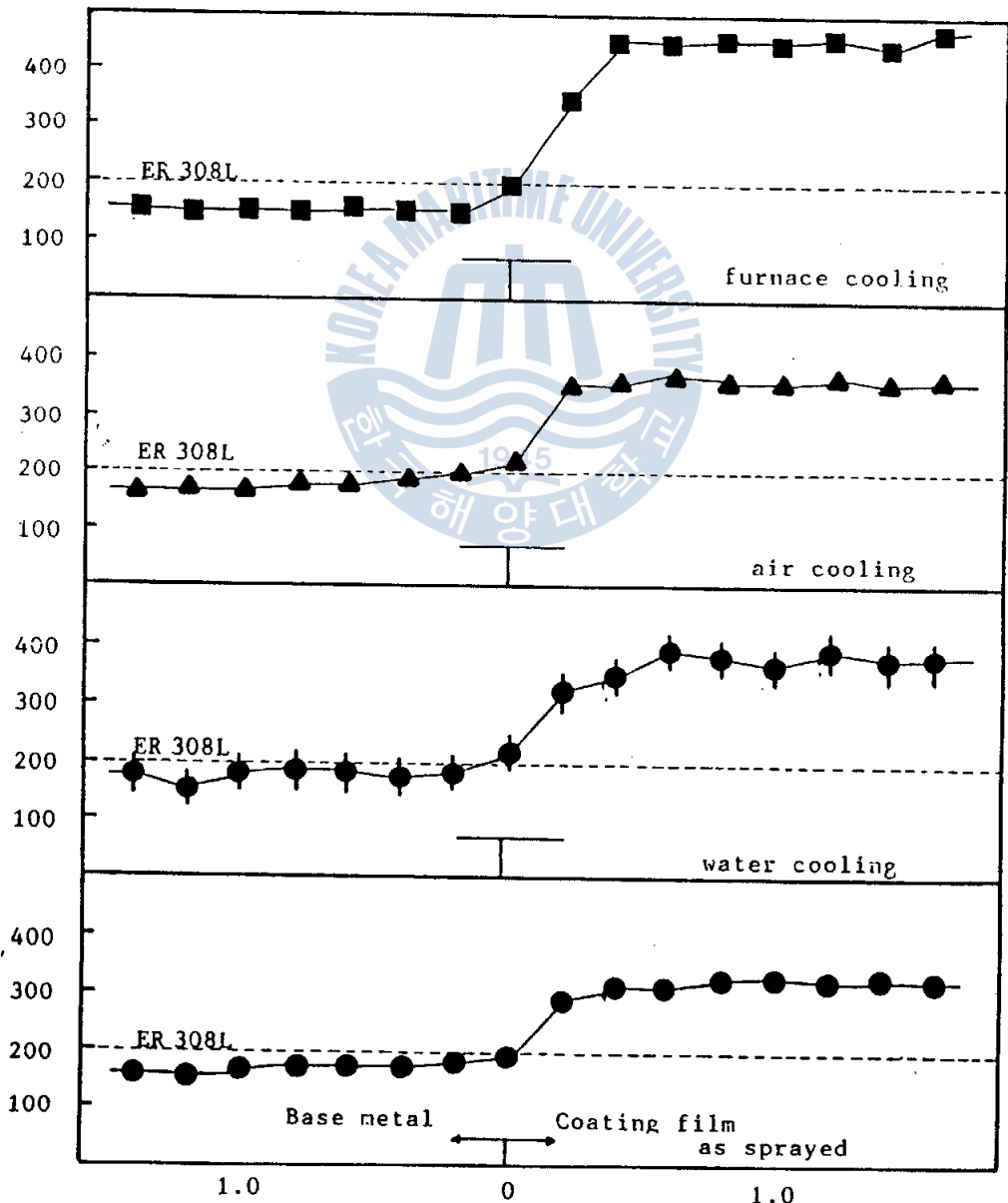
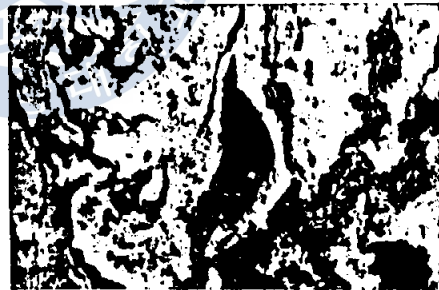


Fig.6 Distribution of micro-Vickers hardness on cooling conditions

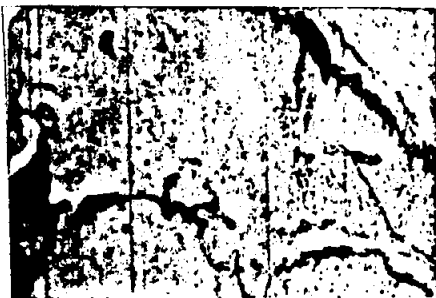
Fig. 6 에서 알 수 있는 바와 같이 母材部에서 境界部로 감에 따라 경도는 다소 증가하다가 被膜部에서 최대값을 나타내고 있다. 母材部에서는 熱處理前이나 熱處理後 모두 비슷한 경도값을 나타내었으나 熱處理한 경우 熔射被膜의 경도는 熱處理 이전의 被膜의 경도값보다 다소 높은 경도값을 나타내고 있으며 특히 노빙한 경우에 있어서 는 가장 높은 값의 경도치를 나타내고 있다. 이것을 熱處理에 의한 熔射被膜內의 기공의 밀봉효과에 의한 것으로 사료되며 특히 노빙의 경우 높은 경도값을 나타내는 것은 被膜粒子 境界나 結晶粒 境界에서의 탄화물의析出에 기인한 것으로 추측된다. Photo. 3은 熱處理前의 試片과 熱處理한 後의 試片의 횡단면을 금속현미경으로 관찰한 사진으로 앞의 고찰을 잘 뒷받침해 주고 있다.



(a) as sprayed



(b) furnace cooling



(c) air cooling



(d) water cooling

Photo. 3 Transverse cross section micro structure of coating film (x 400)

5. 結 論

오스테나이트系 스테인레스鋼 ER.308L을 熔射材料로 하여 熔射한 後 熱處理 條件의 影響을 비교 조사한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 熔射被膜의 熱處理 과정에 있어서 시냉을 하였을 경우에는 被膜粒子 境界와 結晶粒 境界部에서 Cr 탄화물의 析出 현상이 일어났다.
- (2) 공냉이나 수냉과 같이 냉각속도를 빨리 하였을 때는 被膜粒子 境界나 結晶粒 境界에서 Cr 탄화물의 析出 현상은 거의 일어나지 않는다.
- (3) 熱處理한 경우의 熔射被膜의 경도 분포는 熱處理前의 被膜 경도보다 높은 값을 나타내고 있으며 이것은 被膜內 기공의 밀봉 효과에 기인한 것으로

參 考 文 獻

1. 蓮井 淳 : 溶射工學, 養賢堂, PP. 1~2 (1976)
2. 大和久 重雄 : 열처리 기술과 재료에 의한 시험, 地人書館, PP. 186~196
3. 前掲書 (1), PP. 83
4. 前掲書 (1), PP. 119
5. 藤田輝夫 : 스테인리스鋼의 熱處理, 日刊工業新聞社, PP. 120 (1971)
6. 内田 : 材料에 對する溶射, 材料科學, Vol. 15, No. 1, PP. 29~35 (1974)
7. TAFA : TAFA Arc spray technical data (1973)
8. 石川, 關 : 溶射에 による 耐熱被覆의 現狀, 防食技術, Vol. 26, No. 6, PP. 313~326 (1977)

