

研究論文

Al분말 분사에 의해 생성된 Fe-Al합금 피막층의 열처리에 따른 영향

梁炳模* · 朴正植** · 朴光淳*** · 朴景采****

Effects of heat treatment on Fe-Al Alloy Layers Formed by Al Powder Spray

B. M. Yang*, J. S. Park**, K. S. Park*** and K. C. Park****

Key Words : Al Powder spray (Al분말 분사), Alloy layer (합금층), Heat treatment (열처리),
Wear resistance (내마모)

Abstract

Al-Fe alloy layers on heated steel sheet were made by Al powder spray for 30 minutes at 700°C, 800°C and 1000°C, respectively. As a results, for alloy layers formed at 700°C and 800°C, main phases were brittle phase (FeAl_3) and (Fe_2Al_5), hardnesses were very high (Hv 700~800), corrosion resistances were good and surfaces were smooth, but wear resistances were bad. For alloy layer formed at 1000°C, main phase was ductile phase Fe_3Al , hardness was low (Hv 300~400), corrosion and wear resistances were excellent, but surface was rough.

Therefore, alloy layers that formed at 700°C and 800°C were heat treated at 1000°C for 10 minutes for the purpose of smooth surface and excellent wear resistance in this study. It was investigated that brittle phase (FeAl_3) and (Fe_2Al_5) of alloy layers formed by Al powder spray at 700°C and 800°C turn into ductile phase Fe_3Al by heat treated at 1000°C for 10 minutes without changing smooth surface.

It was concluded that the alloy layers formed by Al powder spray on heated steel sheet at 700°C and 800°C for 30 minutes and heat treated at 1000°C for 10 minutes were excellent on wear and smooth surface.

* 학생회원, 경북대학교 금속공학과

** 정회원, 대구보건전문대학 용접과

*** 비회원, 동양공과대학 전자과

**** 정회원, 경북대학교 금속공학과

1. 서론

Al피복 강판은 강표면에 Al을 피복한 강판으로, 피복법으로 용융도금, 용사, 물리증착(PVD), 화학증착(CVD) 등이 있다.²⁾ 이들 방법으로 Al피복강판을 제조할 경우, 얇은 피막층, 피막 내에 기공의 존재 및 모재와 피막의 밀착성 불량 등의 단점이 있다. 따라서 보다 고기능성을 가지는 두꺼운 피막의 제조법으로 현재 많이 연구되고 있는 것이 확산 피복법이다.^{3)~4)}

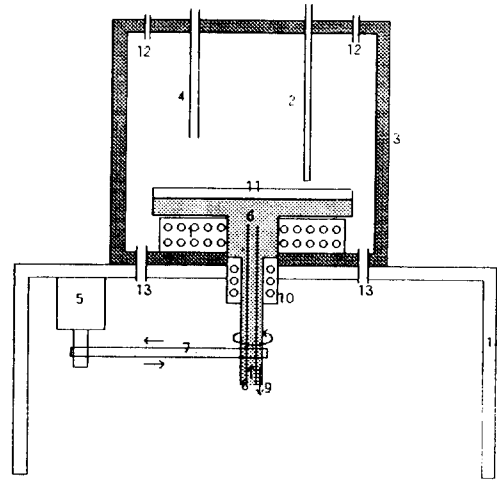
본 연구는 피복강판의 피복방법 중의 하나인 확산피복법을 응용한 것으로 가열한 강판에 Al분말을 분사하여 Al피복강판을 제조했다. 이 경우, Fe-Al의 상호확산에 의해 강표면에 합금층이 생성되어 밀착성이 양호한 합금피막층을 얻을 수 있고, 또한 이러한 합금피막은 내식성과 내마모성이 우수하였다. 그러나 내마모성이 우수한 피막의 제조는 Fe₃Al상을 형성하는 가열온도 1000℃ 이상에서 이루어짐에 따라 모재 강판의 기계적성질이 떨어지고 또한 고온으로 인해 용융된 Al분말입자의 유동성이 증가되어^{5),6)} 이들 입자들의 합체로 인해 제조된 Al피복강판의 피막 표면상태가 좋지 않은 단점을 가졌다. 따라서 본 연구에서는 내마모성과 내식성이 우수하면서 피막 표면상태가 우수한 Al피복강판의 제조와 모재로 사용된 강판의 기계적성질의 향상을 위해 열처리를 행한 뒤, 합금피막층의 상변화를 조사하고, 피막층과 모재 강판의 기계적성질의 변화에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장치 및 시편 제작

그림1은 본 연구의 수행을 위하여 제작한 Al피복강판 제작용 실험 장치의 모식도를 나타낸 것으로, 가열 장치, 분사 장치 및 균일한 Al분말의 피복을 위해 회전 장치로 구성되어 있다. 그리고 이 회전 원판 위에 시편을 장착시킬 수 있도록 되어 있다.

Al피복강판은 표 1과 같은 화학조성인 두께



- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Heating element | 8. Cooling water inlet |
| 2. Thermocouple | 9. Cooling water outlet |
| 3. Insulator | 10. Bearing |
| 4. Powder feeding nozzle | 11. Substrate |
| 5. Motor | 12. Gas inlet |
| 6. Rotator | 13. Gas outlet |
| 7. Belt | 14. Support |

Fig. 1 Schematic diagram of apparatus for making of Fe-Al alloy layers.

2mm의 저탄소강(0.04%C)을 모재로, 순도99.9%, 입도 50~150 μ m의 Al분말을 사용하여 표 2와 같은 조건으로 Ar분위기 하에서 Ar가스량으로 분말 송급량을 조절하면서 700~1100℃로 가열된 강판 위에 Al분말을 분사시켜 제조하였다. 피복 처리 전의 강판은 표면의 산화 피막을 제거하기 위하여 emery paper #100을 사용하여 연마한 후, 아세톤으로 세척하여 건조시켰다. 열처리는 표면상태가 양호한 가열온도 700~800℃에서 제작한 시편을 1000℃에서 10분간 대기중에서 가열한 뒤 수냉하였다.

2.2 조직 관찰 및 합금층 두께 측정

피막층의 미세 조직 관찰은 광학현미경(OM) 및 주사전자현미경(SEM), 피막층의 상분석은 XRD 장치를 이용하였다. 이때 부식액은 HNO₃ 30% +

C₂H₅OH 70%를 사용하였다.

합금층의 두께는 조직사진에 의해서 열처리 전에는 합금층의 계면이凹凸이 심하기 때문에 골과 마루의 중간을, 열처리 후에는 평활한 계면으로 표면에서 계면까지 10군데에서 측정하여 평균한것을 합금층 두께로 하였다.

C	Si	P	S	Sn	Mn	Fe
0.04	0.38	0.03	0.13	0.38	0.71	Bal

Table 1. Chemical compositions of substrate (wt%)

heating temperature	700~1100℃
Ar gas flow rate	10 l /min
powder carrier gas (Ar) pressure	2Kgf/cm ²
powder feeding rate	1.2g/min
rotation speed of substate	42rpm

Table 2. Spray conditions for Al powders

2.3 경도 및 내마모시험

피막층의 경도는 마이크로 비커스 경도기를 사용하여, 시험 하중 300g, 부하 시간 10초로 하여 측정하였다. 피막의 내마모특성은 JIS K7218 규정 Block-회전 원판 마모시험법(大越式 迅速)으로 대기중 무윤활상태에서 비마모량으로 조사하였다. 상대재는 SUJ2 회전 원판(Hv 740, 직경 50mm)을 사용하였고, 마모 조건은 마찰 하중 30N, 마찰 거리 1000m, 마찰 속도 1.28m/s로 일정하게 하였다.^{7),8)}

2.4 내식성 시험

Al을 피복한 시편의 내식성은 전기화학적인 분극곡선을 이용하여 조사하였다. 사용된 기기는 EG & PARC社의 potentio/galvanostat (model 275)를 사용하였으며, 전해조건은 전해액으로 Na₂SO₄ 1/20M + 3% NaCl, 표준전극으로 calomel electrode, 상대전극으로 carbon electrode, 주사속도 10mV/sec, 시험온도 15~20℃로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가열온도에 따른 합금피막의 표면물성

surface condition	Spray Temperature (℃)			
	700	800	900	1000
main phase	FeAl ₃	Fe ₂ Al ₅	Fe ₃ Al ₅	Fe ₃ Al
hardness (Hv)	750	780	800	340
specific wear (mm ³ /Nm)	3.7 × 10 ⁻⁷	3 × 10 ⁻⁷	4.5 × 10 ⁻⁷	3 × 10 ⁻⁹
resistance corrosion	good	good	good	good

Table 3. Characteristics of alloy layers formed by Al powder spray

표 3은 가열온도에 따른 표면물성을 나타낸 것으로, 700℃ 900℃에서 형성된 피막은 주생성상이 FeAl₃, Fe₂Al₅로 경도값은 Hv 750~800으로 높고, 비마모량은 3.7 × 4.5 × 10⁻⁷로 높게 나타났다. 그리고 표면은 사진에서 나타낸 바와 같이 700℃와 800℃에서 생성된 경우는 양호하지만, 900℃는 거친면을보여주고있다. 반면에, 1000℃에서 형성된 피막의 경우는 주생성상이 Fe₃Al로 경도값은 Hv 300으로 나타났고, 비마모량은 3 × 10⁻⁹로 낮게 나타났다. 그리고, 이 온도에서 생성된 표면은 용융 Al입자의 합체로 인해서 상당히 거친면을 나타내고 있다. 그러나 모든 피막층의 내식성은 모재(저탄소강)에 비해서 매우 좋은 결과를 보여주고 있다.

3.2 열처리에 따른 모재와 합금피막층의 미세 조직 및 두께의 변화

사진 1은 700℃와 800℃에서 제조한 피막의 열처리 전후의 합금층의 단면 조직 사진을 보여주고

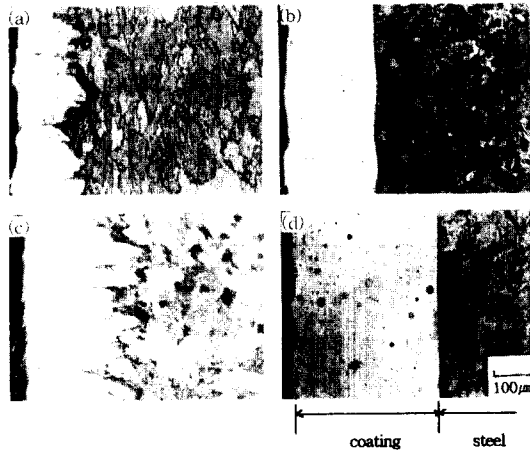


Photo. 1 Cross section microstructures of Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at (a) 700°C, (c) 800°C for 30minutes and (b, d) heat treated at 1000°C for 10minutes.

있다. 열처리 전의 합금피막층과 모재와의 계면의 형태는凹凸이 심한 조직을 보여주었는데 반해, 열처리 후에는凹凸조직은 없어지고, 평활해진것을 보여주고 있다. 그리고 모재의 경우, 열처리 전

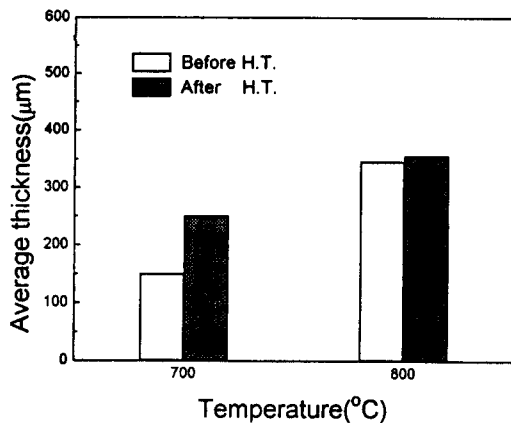


Fig. 2 Relationship between heating temperatures and average thickness of Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at 700, 800°C for 30minutes and heat treated those at 1000°C for 10minutes.

에는 입연조직 및 입상 펄라이트(pearlite)가 존재하나, 열처리 후에는 페라이트(ferrite)가 입계 및 층상으로 석출한 위드만스테텐조직(Widmanstten structure)을 보이고 있다.

그림 2는 열처리 전후 합금피막층의 두께 변화를 나타낸 것이다. 가열온도 800°C에서 제조한 경우 열처리 후 합금 피막의 두께의 증가는 큰 변화가 없는 것에 비해서, 가열온도 700°C에서 제조한 경우 합금피막층의 두께는 크게 증가했다. 이것은 가열온도 700°C에서 제조한 피막의 표면에 순 Al층이 800°C에서 제조한 시편에 비해서 두껍게 피복되어, 이 순 Al층이 열처리에 의해 Fe와의 반응으로 합금피막층의 두께를 증가시켰다고 사료된다. 또한 열처리 후 합금 피막의 두께는 250~350μm 정도로서 공업적으로 적당함을 알 수 있다.

3.3 열처리에 따른 합금피막층의 생성상 변화

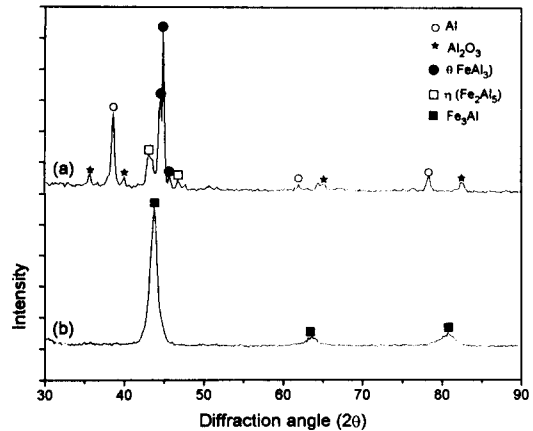


Fig. 3 XRD patterns of Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at (a) 700°C for 30minutes and (b) heat treated that at 1000°C for 10minutes.

그림 3, 4는 각각 700°C와 800°C에서 제조한 합금 피막에 대하여 열처리 후의 생성상 변화를 알아보기 위해서 열처리 전후의 XRD 분석 결과를 보여주고 있다. 열처리 전에는 주된 상이 Fe₂Al₃상이지만 열처리 후에는 모재의 Fe가 Al과 확산 및 반응함에 따라서 Fe₃Al로 바뀌었음을 알 수 있다.

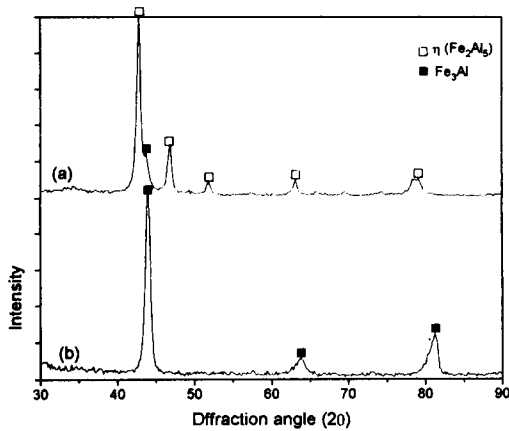


Fig. 4 XRD patterns of Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at (a) 800°C for 30minutes and (b) heat treated that at 1000°C for 10minutes.

3.4 열처리에 따른 모재와 합금피막층의 경도 변화

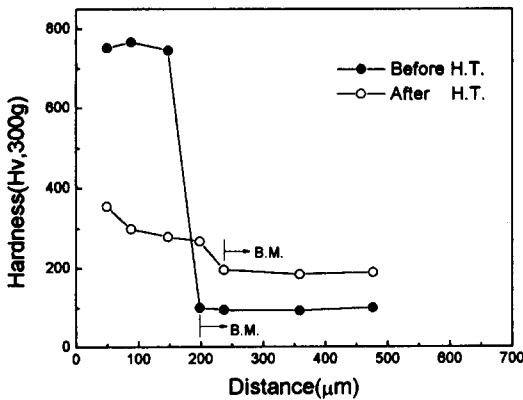


Fig. 5 Hardness distribution on distance from surface of Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at 700°C for 30minutes and heat treated that at 1000°C for 10minutes.

그림 5과 6은 각각 700°C와 800°C에서 제조한 합금피막층에 대하여 열처리 전후의 경도 변화를 나타낸 것이다. 열처리 전에 높게 나타나던 합금피막층의 경도값이 열처리 후에는 낮은 값을 보여주고 있다. 이것은 그림 3, 4의 상분석 결과와 비교 검토하면, 열처리를 행함으로써 높은 경도값을 나타내던 FeAl₃, Fe₂Al₅상이 낮은 경도값을 나타내는

Fe₃Al상으로 변태한 것에 기인된다. 한편, 열처리 전후의 모재의 경도 변화를 살펴보면, 열처리 전 약 Hv 100~150 정도이던 것이 열처리 후 약 Hv 200 정도로 향상되었음을 알 수 있다. 즉, 열처리를 행함으로써 모재의 경도도 향상되는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

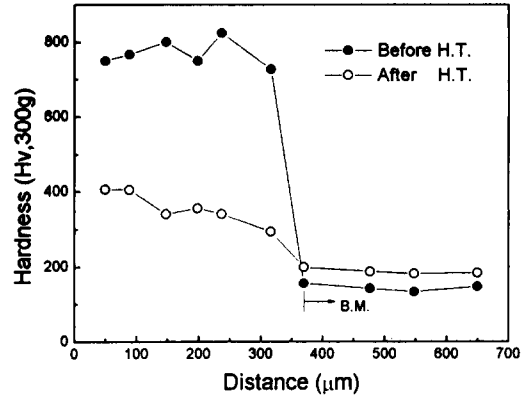


Fig. 6 Hardness distribution on distance from surface of Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at 800°C for 30minutes and heat treated that at 1000°C for 10minutes.

3.5 열처리에 따른 합금피막층의 내마모성 변화

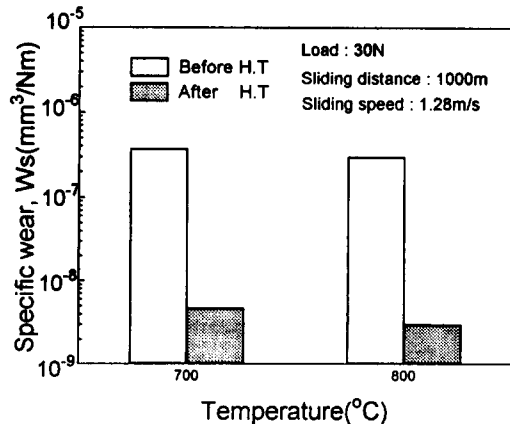


Fig. 7 Relationship between heating temperature and specific wear of Fe-Al alloys layer formed by Al powder spraying at 700, 800°C for 30minutes and heat treated at 1000°C for 10minutes.

그림 7은 가열 온도 700℃ 및 800℃에서 제작한 경우, 열처리 전후의 합금피막층의 내마모성을 나타낸 것으로, 열처리를 행함으로서 가열 온도에 관계없이 내마모성이 향상되었음을 알 수 있다. 이것은 그림 3, 4에서 알 수 있듯이 열처리 전의 피막층에 취성인 FeAl₃, Fe₂Al₃상이 비교적 연성이 있는 Fe₃Al상으로 바뀜에 따라 이들 합금피막층의 내마

모성이 개선되었음을 알 수 있다.

사진 2는 가열 온도 800℃에서 제작한 시험편의 열처리 전후, 합금피막층의 마모면을 관찰한 SEM 조직이다. 이들 합금피막층의 마모형태는 열처리전(a)에 존재하던 균열 및 깨어진 조대한 입자의 분산된 마모가 열처리후(b)에는 미세한 입자의 분산 및 연성을 가지는 마모로 바뀌었음을 알 수 있다. 이리하여 열처리에 의해 연성의 생성상 Fe₃Al의 존재로 인하여 내마모성이 향상되었음을 알 수 있다.

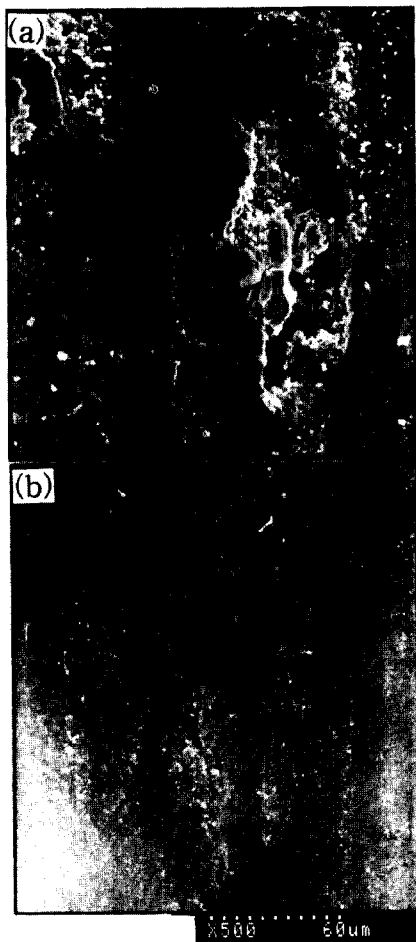


Photo. 2 Microstructures of wear surfaces in Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at (a) 800℃ for 30minutes and (b) heat treated that at 1000℃ for 10minutes.

3.6 열처리에 따른 합금피막층의 내식성 변화

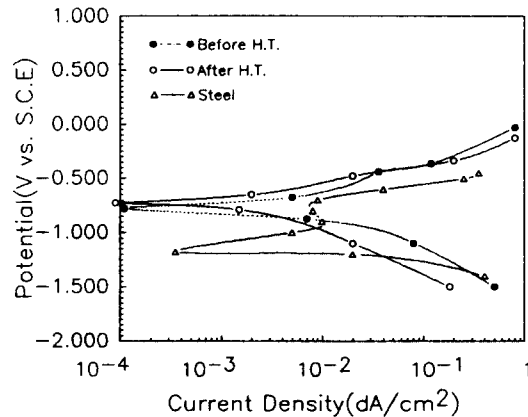


Fig. 8 Polarization curves of steel, Fe-Al alloy layers formed by Al powder spray at 700℃ for 30minutes and heat treated at 1000℃ for 10minutes, in 1/20M Na₂SO₄ solution contained 3% NaCl

그림 8은 모재로 사용된 저탄소강과 가열 온도 700℃에서 제작한 Al피복강판 및 1000℃에서 열처리한 경우의 부식거동을 조사하기 위한 분극곡선이다. 실험 결과, 열처리 전후 피막의 거동은 거의 동일하였다. 이 양자 모두 평형전위 값이 모재로 사용된 steel 보다 貴하고, anode 및 cathode 부식 전류 밀도도 아주 낮은 값을 나타내었다. 이것으로 Al피복강판은 열처리 전후에 관계없이 내식성이 우수함을 알 수 있다.

4. 결 론

내마모성과 내식성이 우수하고 표면상태가 양호한 Si피복강판의 제조 및 모재 강판의 기계적성질 향상을 위해 1000℃에서 10분간 열처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열처리후 피막층의 두께가 250~350 μm 를 얻었고, 이것은 공업적으로 적당하다.

2. 열처리전에 피막층의 경도값은 가열온도 700, 800℃에서의 경우 Hv 700~800이나, 열처리 후에는 Hv 300~400을 얻었다 그러나 피막층의 내마모성은 열처리 전 (약 $4 \times 10^{-7} \text{mm}^3/\text{Nm}$)에 비해 열처리 후 ($5 \times 10^{-9} \text{mm}^3/\text{Nm}$)는 상당히 향상되었다. 이것은 가열온도 700, 800℃에서 제작한 피막층의 주된상인 (FeAl_3), (Fe_2Al_3)상이 열처리에 의해 Fe_3Al 상으로 변태하였기 때문으로 판단된다.

3. 모재 강판의 경도는 가열온도 700, 800℃에서 피막층을 형성시킨 경우, 약 Hv 100~150 정도였으나 열처리 후는 약 Hv 200으로 증가되어 좋은 결과를 얻었다.

4. 이상의 결과를 종합해 볼때, 가열온도 700, 800℃의 강판에서 Al분말 분사에 의해 제조하고, 1000℃에서 10분간 열처리한 합금피막이 양호한 표면상태 및 공업적으로 적당한 두께를 가질뿐만 아니라 우수한 내마모성을 가졌다.

후 기

본 연구는 1994년도 포항종합제철주식회사의 연

구비지원에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

1. 武井 厚 : 金屬表面技術, 39 (1988) 335
2. Hidehiko Kamide, Yuichi Tanaka and Hirokatsu Makugawa : J. Japan Inst. Metals, 57 (1993) 176
3. 山田重朋 : 熱處理, 32 (1992) 299
4. Michiko Yoshihara, Tetsuya Suzuki and Ryohei Tanaka : IAIJ International, 31 (1991) 1201
5. Rajiv Asthana : An Empirical Correlation between Contact Angles and Surface Tension in Some Ceramic-Metal Systems, Metallurgical & Materials Transaction A, Vol. 25A, (1994), p. 225
6. David R. Gaskell : An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering, (1992), p. 97
7. 朴成斗, 李 暎浩, 中田一傳, 松田福久 : 플라즈마 아크 분체육성법에 의한 Al합금의 경화후막 합금화층의 형성, 大韓熔接學會誌, 11 (1993) 74
8. B. N. Pramila Bai and S. K. Biswas ; Effect of Magnesium Addition and Heat Treatment on Mild Wear of Hypoeutectic Al-Si Alloys, Acta. Metall., 39 (1991) 833