

HVOF를 이용한 Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B계 고성능 합금 용사층의 특성에 미치는 용사조건의 영향

권기봉, 조대형*, 장영권*, 백영남**

한양대학교 금속재료공학과, 산업기술시험원*, 경희대학교 기계공학과**

The influence of spraying conditions to the coating layer properties of Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B alloy using the HVOF

G. B. Kwon, D. H. Cho*, Y. K. Chang*, Y. N. Paik**

Department of Metallurgy Material Science Hanyang University
Korea Testing Laboratory*
Department of Mechanical Science Kyunghee University**

Abstract

This study was performed to investigate the influence of spraying condition to the coating layer properties of Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B alloy using the HVOF. The investigations, such as thickness measurement, surface roughness, hardness, friction coefficient, resistance of corrosion were carried out. Matrix is prepared by gritting and coating layer is made of Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B alloy powder using HVOF. Alumina gritting layers are superior to steel gritting layers. The less spraying distance, the more coating layer properties confirmed. The optimum spraying condition, in this study, was proved as 13 inch spraying distance with feed rate 350rpm (78g/min).

1. 서 론

최근 산업 기계분야는 고성능화, 생산성 향상과 원가절감을 통한 경쟁력 강화에 초점을 두고 있으며 이에 따라 중요한 기계부품의 표면 기능향상이 요구되고 있다. 요구되는 표면 기능으로는 내마모, 내열, 내식성이 대표적인 것으로 이를 향상시키기 위해서는 고도의 표면 처리기술이 필요하다. 이를 통하여 구성 부재 단독으로는 얻을 수 없는 뛰어난 특성을 부품 표면에 부여하여 수명 및 성능을 향상시키고 고급 재료의 사용을 피하여 원가절감 및 생산성 향

상을 가져올 수 있기 때문이다. 현재 각각의 요구되는 성능에 대응하는 많은 표면처리 방법이 응용되고 있으나 이중 신기술로서 주목받고 있는 HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) 용사법은 다른 코팅법에 비해서 입자의 속도가 매우 빨라 여러 재료에 대하여 활발하게 적용되고 있다^{1, 2)}.

고온 다습한 분위기에서 내식, 내마모성이 우수한 특성을 가지도록 하기 위하여 보통 Cr 도금을 주로 사용하고 있으나, 사용도중 표면 침식으로 인하여 생산성과 내구성 저하로 빈번한 제품 교체로 경제적 손실이 생기게 된다. 이를 개선하기 위하여 일부 Ni

-Cr, WC, CrC 등을 표면에 코팅하여 사용하려는 연구가 시도되고 있으나 아직까지 실용화는 미흡한 실정이다.

Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B를 주성분으로 하는 비정질 합금은 미국 등에서 고온용 내식, 내마모용 재료로 각종 부식분위기 하에서 내마모성이 요구되는 요소 부품에 응용범위가 확대되고 있다. 이 합금은 주로 용접이나 용사법으로 표면에 코팅하여 사용하고 있으며 내마모성이나 내식성을 향상시키는 탁월한 효과를 가진 것으로 보고되고 있다³⁾.

본 연구는 내마모성이 우수한 Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B 계 합금분말을 HVOF 고속 용사법으로 코팅 할 경우 코팅층 형성 및 기계적 성질에 영향을 주는 용사조건에 영향을 확인하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 용사용 분말은 AMORPHOUS TECHNOLOGY社에서 제조한 ARMACOR C (Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B 계; 이하 C라고 함)를 이용하였다. 용사용 분말의 특성을 확인하기 위하여 MALVERN사의 MASTERSIZER 입도분석기를 사용하여 laser diffraction 법으로 분말의 입도분포를 측정하였으며, QUANTA CHROME사의 AUTOSORB-I (B.E.T)을 이용하여 분말의 비표면적을 측정하였다. 분말의 형상과 단면조직은 SEM으로 관찰하였고, 분말의 겉보기밀도와 유동도는 Hall Apparatus를 사용하여 측정하였다. 또한 분말의 상분석은 XRD를 이용하여 측정하였다.

모재는 SM45C를 사용하였으며 TAFE사의 JP-5000을 이용하여 HVOF 용사를 하였다⁴⁾. 용용된 입자와 모재표면간의 접합력을 향상시키기 위하여 모재표면을 금속계와 알루미늄계 grit로 blasting 처리하고 분말의 feed rate를 250 (57g/min), 350 rpm (78g/min)으로 하고 용사거리를 13~15 inch로 변화하여 용사하였다.

용사층의 기계적 성질로는 epoxy 수지로 접합하

여 접합강도를 실험하였고⁵⁾, 코팅층의 표면경도를 Microvickers 경도기로 측정하였다. 내마모특성 실험은 건식마모, Pin-on-Disk type으로 인가하중을 30N으로 하고 상대재는 Armacor M으로 코팅, 연마한 것을 사용하여 회전속도는 100rpm으로 실험하였다. 마모실험 총 활주거리 1,130,973.355mm로 마찰계수 및 마모량을 측정하였다. 이때 사용한 Pin은 직경 3mm로 하였다. 용사층의 pore 및 용사 flow는 광학현미경, Image analyser와 주사전자현미경의 back scatter electron image를 이용하여 관찰하였고, XRD를 이용하여 상분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 본 연구에 이용된 용사 분말의 입도분포를 나타낸 것이다. C 분말의 평균 입도는 37.46 μ m로 확인되었다.

Table 1은 분석결과 확인된 분말의 물리적 성질을 나타낸 것이다. C 분말의 경우 입자 크기가 큰 편이기 때문에 겉보기 밀도가 작고 이에 따른 충전율이 작을 것으로 생각이 된다. 또한 C 분말의 flow rate는 입자크기로 인해 약간 큰 값을 나타낸다. 이는 입자 크기가 커서 분말 상호간에 friction 발생이

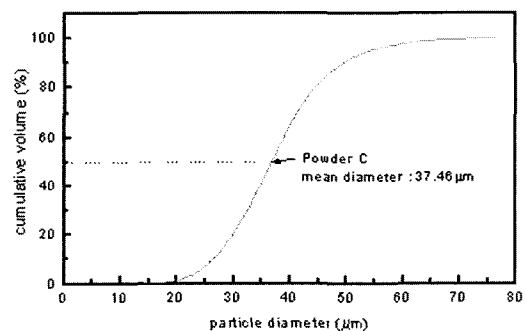


Fig. 1. particle size distribution of spray powder

Table 1. Physical properties of spray powder

	Apparent density (g/cm ³)	Specific surface area (m ² /g)	Flow rate (sec.)
Powder C	4.62246	4.560 × 10 ⁻²	18.636

입자크기가 작은 분말보다 작기 때문으로 생각되며 주어진 시간 내에 분말이 이송하는데 짧은 시간이 소요될 것으로 생각된다. 이는 실제 용사에 있어서 치밀한 조직을 얻는데 결정적인 영향을 줄 것으로 추정된다^{6, 7)}.

Fig. 2는 본 연구에 이용되는 분말의 주사전자현

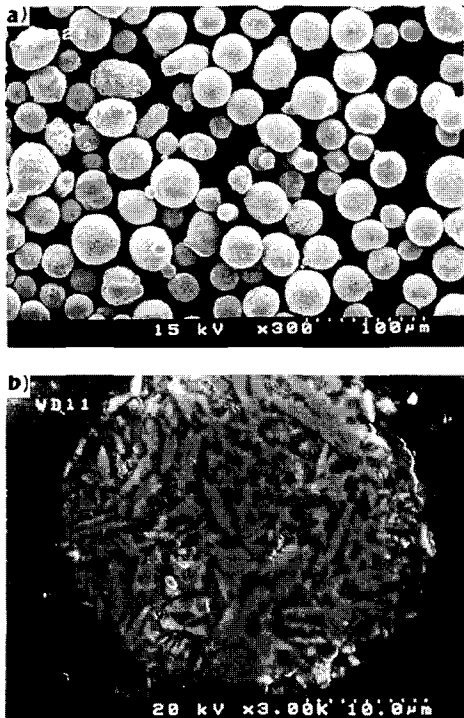


Fig. 2 SEM micrograph of spray powder
(a) Shape of powder C, (b) Micro structure of powder C

미경 사진을 나타낸 것으로 C 분말은 구형에 가까운 형상을 가지며, 분말의 단면은 수직상조적으로 응고하는 것으로 보아 빠른 냉각속도로 제조되었음을 추정할 수 있다.

Grit 재질과 분말 이송속도 및 용사거리에 따라 형성된 코팅층의 두께를 Fig. 3에 나타내었다. C 분말에 대한 코팅층의 변화로 분말 이송속도가 증가할수록 코팅층의 두께는 증가하고 용사거리가 감소함

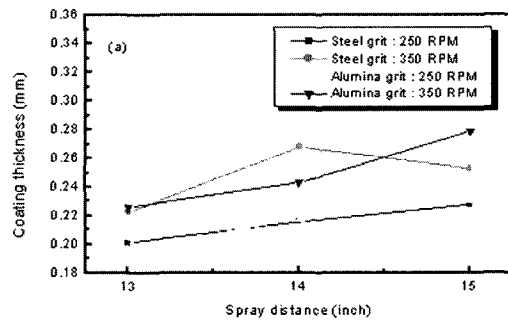


Fig. 3 Coating thickness variation according to coating conditions

에 따라 코팅층의 두께는 감소하였다.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 C 분말을 사용하여 동일 용사거리에서 분말의 이송속도를 달리 하였을 경우 형성된 코팅층의 단면을 보여준 것이다. 분말의 이송속도가 증가할수록 코팅층은 두껍게 형성되고 있으며 이는 분말이송속도 증가에 의해 상대적으로 많은 양의 분말이 용착되고 있어 코팅층이 두껍

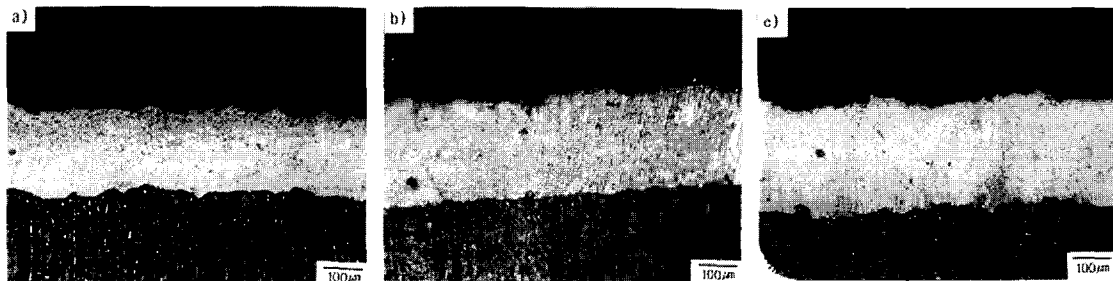


Fig. 4 Shape of the coating layer according to coating conditions
(a) Spary distance 14inch, flow speed 250rpm (57g/min.)
(b) Spary distance 14inch, flow speed 350rpm (78g/min.)
(c) Spary distance 15inch, flow speed 350rpm (78g/min.)

게 형성된 것이다. Fig. 4의 (b)와 (c)는 용사거리
에 따른 코팅층 두께를 나타낸 것이다. 용사거리가
증가할수록 코팅두께가 증가함을 알 수 있었으며 어
떤 용사조건에서도 25 μ m이상의 코팅층을 얻을 수
있었다.

Fig. 5는 용사조건 변화에 따른 코팅층의 표면거
칠기를 조사한 결과로 grit blast 재질과는 무관하게
코팅층은 거의 비슷한 표면거칠기를 가지고 형성되
었다. 그러나 용사거리가 증가할 경우 상대적으로

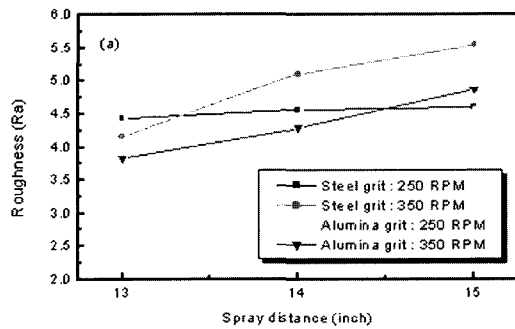


Fig. 5 Surface roughness variation in different grit material according to coating conditions

표면거칠기는 증가함을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 알루미늄계 grit blast로 처리한 시험편
에 C 분말을 350rpm (78g/min.)으로 이송하여 용사
한 후 용사거리에 따른 코팅층의 파단면을 조사한
것이다. 용사거리가 짧을수록 용사층 내에는 치밀한
조직을 얻을 수 있었다. 용사거리의 증가에 따라 미
용용된 분말입자나 용융되어 크게 응집된 입자들이
많이 관찰되었고 코팅층 내에 pore가 많이 형성되었
다. 이는 용사거리의 증가에 따라 표면거칠기가 증
가되고 있는 것을 잘 입증해 주고 있으며 경도나 내
마모성 감소에 결정적으로 영향을 줄 것으로 생각
된다.

Fig. 7은 용사조건에 따른 접합강도의 변화를 측
정한 결과로 대부분 시험편은 3000psi 이하에서는
용사층이 박리 되지 않았다. 다만 측정값의 변화가
일어나는 원인은 실험에서 접합제의 변화량에 따

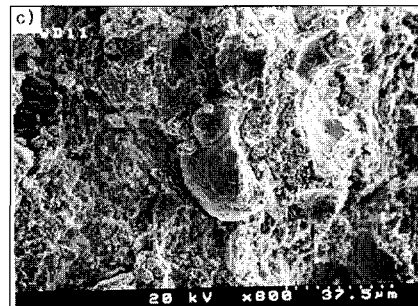
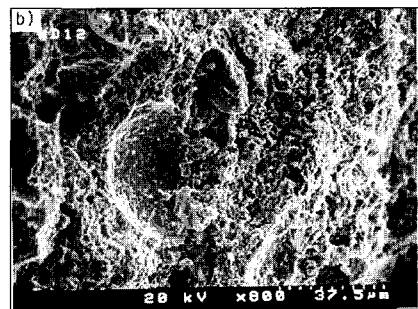
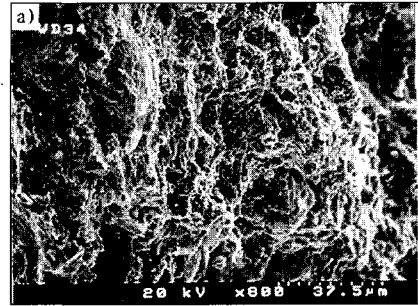


Fig. 6 SEM micrograph fracture surface of the coating in spray distance (a) 13inch, (b) 14inch, and (c) 15inch

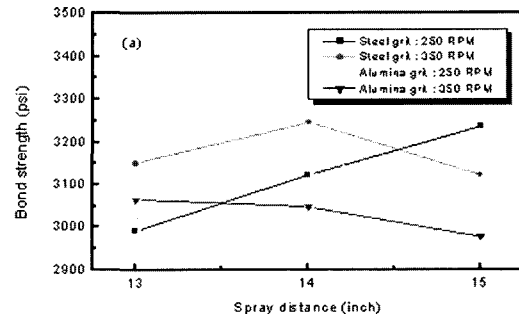


Fig. 7 Bonding strength variation according to coating conditions

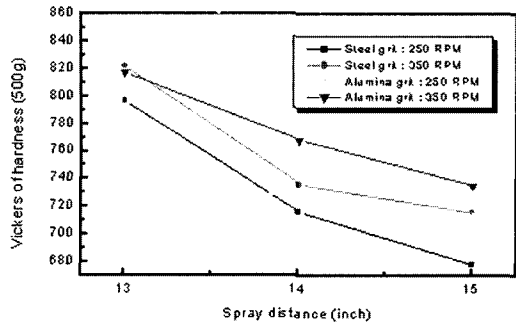


Fig. 8 Vickers hardness variation according to coating conditions

라 접합강도차이가 발생하고 있기 때문에 평가된다^{8,9)}.

앞서 예측한 바와 같이 용사 거리의 증가에 따라 코팅층 내의 용사층의 표면경도는 Fig. 8과 같이 감소하고 있었다. 이는 용사거리의 증가에 따라 용사층 내의 불규칙한 용착덩어리 형성 및 미용용 분말이 존재에 따른 pore 형성에 의하여 경도가 감소하고 있는 것으로 생각되며 분말의 이송속도가 증가할수록 경도는 상승되는 것을 알수 있었다. 이는 분말 이송속도가 낮은 시험편에 비하여 상대적으로 치밀한 조직을 얻을 수 있기 때문이다.

본 연구에서 실험을 수행한 코팅층은 분말의 이송속도가 증가하고 용사거리가 짧을수록 우수한 내마모 특성을 나타내고 있었다. Fig. 9에 내마모 실험 결과 얻은 용사조건별 마찰계수 및 마모량 측정 결과를

나타내었다.

4. 결 론

HVOF를 이용한 Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B계 고성능 합금 코팅 가능성과 코팅층의 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구를 통하여 Fe-Cr-Ni-Mo-Si-B계 분말을 이용하여 내마모성이 우수한 용사층을 얻을 수 있었다.

2) 분말 이송속도가 증가할수록 코팅층의 두께는 증가하고, 용사거리가 감소할수록 코팅층의 두께는 감소하였으며 최소 코팅층은 25 μ m 이상이였다.

3) 코팅 표면거칠기는 grit 재질과는 무관하며, 용사거리가 증가할 경우 표면거칠기는 증가한다.

4) 용사거리가 짧을수록 치밀한 조직의 용사층을 얻을 수 있으며, 3000psi 이하에서 박리되지 않는 접착강도를 코팅층을 얻을 수 있었다.

5) 마찰계수는 분말을 350rpm (78g/min.)으로 이송하여 13inch에서 용사하였을 경우 0.29였으며, 용사거리 증가에 따라 마찰계수 및 마모량이 증가하였다.

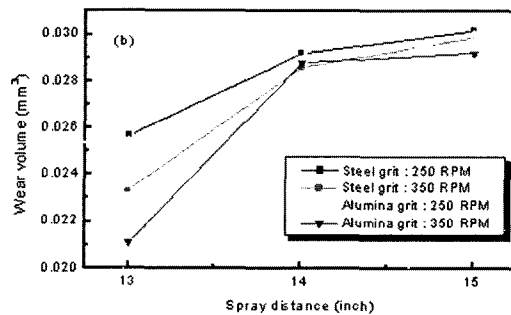
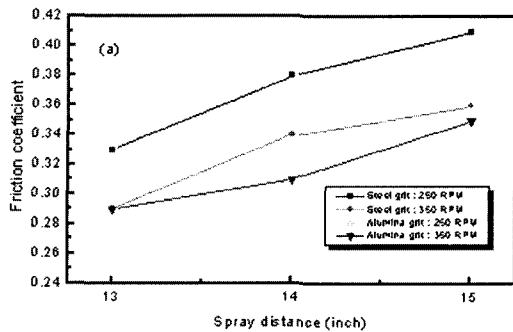


Fig. 9 Friction coefficient (a) and wear volume (b) variations according to coating conditions

5. 참고문헌

1. 변응선, WC-Co 코팅층의 특성에 미치는 HVOF 용사조건의 영향, 용사기술 workshop, 1998
2. HVOF 용사된 Cr₃C₂-20wt% (NiCr) 층의 열처리에 따른 미세구조 및 특성 변화, 한국재료학회지, 7. (1997) 11.
3. Plasma Coatings of FeMoCrNiB Alloy with Amorphized Structure, Proceedings of the 1993 National Thermal Spray Conference, Anaheim, CA, 7-11 June 1993
4. JP-5000 HP/HVOF SYSTEM OPERATING MANUAL
5. ASTM C633-79
6. Influence of thermal processes on coating formation during high velocity oxy-fuel (HVOF) spraying of WC-Ni powder particles, Surf. Coat. Technol., 82 (1996) 121
7. Investigation of the development of coating structure during high velocity oxy-fuel (HVOF) spraying of WC-Ni powder particles, Surf. Coat. Technol., 82 (1996) 114
8. Strength of HVOF coating-substrate interfaces, Thin Solid Films, V. 332 N.1-2, (1998) 185
9. Substrate-coating thermal interaction during high velocity oxyfuel spraying, Mater. Sci. Technol. V. 11, (1995) 1052