

Ni-기 자용성합금의 코팅에 관한 기초적 연구(II)

-코팅층의 기계적 특성에 미치는 강화처리의 영향-

Fundamental Study on Ni-Base Self-Fluxing Alloy Coating(II)

-The Effect of Strengthening Treatment on Mechanical Properties of Coating Layer-

김영식 · 오명석

Y. S. Kim and M. S. Oh

Key Words : Plasma Spraying(플라즈마 용사), Ni-Base Self-Fluxing Alloy(Ni-기 자용성합금), Strengthening Treatment(강화처리), Microhardness(미소경도), Thermal Shock Resistance(내열충격성), Erosion Resistance(내이로우전성)

Abstract : In this study, the author investigated the effects of strengthening treatments on the mechanical properties of plasma sprayed Ni-base self fluxing alloy. Strengthening treatments for sprayed specimens were carried out in 4 different temperature conditions in vacuum furnace. The mechanical properties, such as microhardness, thermal shock resistance and erosion resistance were tested for the sprayed specimens after strengthening treatments. And it was proved that the mechanical properties of coating layer were much improved by strengthening treatments.

1. 서 론

용사법은 도금법, CVD, PVD, 고상접합법 등과 함께 금속재료의 표면에 내열, 내마모, 내식 등의 탁월한 기능을 부여하는 표면개질기술로서 최근 여러 공업분야에 그 적용성을 넓혀가고 있다^{1)~5)}.

그러나 용사법에 의해 작성된 코팅층은 본질적으로 기공이 많고 조직이 불균질하며 또한 기재와의 밀착강도가 좋지 못하다는 치명적인 결점을 지니고 있는데, 이러한 코팅층의 조직이나 기계적 특성은 용사조건에 따라 크게 영향을 받으며 또한 용사후의 적절한 후처리에 의해 개선될 수 있는 것으로 알려져 있다⁶⁾.

저자 등은 전보에서 용사조건에 따른 용사입자의 편평거동을 분석하고, 이러한 용사입자의 편평거동이 코팅층의 조직과 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 검토한 바 있다⁷⁾.

본 연구는 전보에 이은 Ni-기 자용성합금의 코팅에 관한 기초적 연구의 일환으로서, 플라즈마 용사된 Ni-기 자용성합금 코팅층에 대해 진공로중에서 처리 온도를 변화시키면서 강화처리를 실시하고, 이러한

강화처리가 코팅층의 조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험 및 방법

코팅층 작성을 위한 용사장치로는 70kW의 플라즈마 용사장치(Metco 9MB)를, 코팅재료로는 시판의 Ni-기 자용성합금 분말(Metco, 16C)을 사용하였다.

용사에 앞서 40×50×5mm로 가공된 기재 평판(SS400)을 전처리하고, 예비실험을 통해 선정된 최적의 용사조건에 따라 기재상에 400±10 μ m의 Ni-기 자용성합금 코팅층을 작성하였다.

Table 1은 본 실험에서 사용한 Ni-기 자용성 합금 분말의 화학조성을, Table 2는 본 실험의 용사조건을 나타낸다.

상기의 용사조건에 의해 작성된 코팅시편에 대해 진공로 중에서 처리온도를 변화시키면서 강화처리를 실시하였다. 강화처리 온도는 800, 900, 1000 및 1100 $^{\circ}$ C로 하였으며, 각 온도조건에서의 유지시간은 30분으로 하였다. 각 온도조건에 이르기까지의 온도 상승속도는 30 $^{\circ}$ C/min으로 설정하였으며, 강화처리후 상온까지의 냉각은 노냉으로 처리하였다. Table 3은 본 실험에 있어서의 강화처리 조건을 나타낸다.

접수일 : 1998년 9월 17일

김영식, 오명석 : 부경대학교 기계·자동차공학부

Table 1 Chemical compositions of Ni-base self-fuxing alloy powder used(wt %)

Ni	Cr	Si	B	Cu	Mo	Fe	C
Bal.	16	4	4	3	3	2.5	0.5

Table 2 Spraying conditions

Gun type	Metco 9MB
Voltage (V)	55
Current (A)	500
Spraying distance (mm)	150
Gun traverse speed (m)	12
Step interval (mm)	6
No. of pass	3

Table 3 Strengthening treatment conditions

Temperature (°C)	Vacuum (torr)	Holding time (min)
800 900 1000 1100	4×10^{-5}	30

한편 이러한 강화처리가 코팅층의 기계적 특성에 미치는 영향을 검토하기 위해, 용사후 강화처리된 코팅시험편에 대해 경도시험, 열충격시험 및 이로우전시험을 실시하였다.

경도시험은 500gf의 압자를 이용한 마이크로비커스 경도시험기를 사용하여 코팅층 단면의 미소경도를 측정하였다. 한 시험편당의 측정개소는 코팅층 단면의 상층부, 중층부 및 하층부에 각각 3개소씩 모두 9개소로 하였다.

열충격시험은 강화처리후 10×20 mm로 가공된 시험편을 800°C 의 전기저항로 내에서 10분간 유지한 후, 실온의 청수중에 급랭시키는 방법으로 열충격을 가하고, 이러한 열충격에 의해 코팅층의 박리나 깨어짐 등의 손상이 관찰될 때까지 시험을 반복하였다. 코팅층의 10% 정도가 손상되면 전체적인 코팅층의 파손으로 간주하였다.

이로우전시험은 Arata 등이 개발한 ACT-JP 시험장치⁸⁾에 의하였다. 시험편까지의 거리는 100mm, 분사압력은 0.3MPa, 분사각도는 30° 로 하였으며, 분사재료는 #54 Alumina grit를 사용하여 매회 70g씩 5회 분사하였다. 이로우전시험후의 탈락된 코팅층의 무게

를 0.0001g 단위까지 측정하였다. Table 4는 이로우전시험의 조건을 나타낸다.

Table 4 Conditions of blast erosion test

Distance (mm)	100
Angle (degree)	30
Pressure (MPa)	0.3
Material	#54 Alumina grit
Quantity (g)	70×5

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 강화처리 온도의 변화에 따른 코팅층의 단면 미세조직의 변화를 나타낸 것이다. as sprayed 시험편은 조직이 균질하지 못하고 또한 코팅층내에 다수의 기공이 존재하고 있는 반면, 강화처리를 실시한 시험편의 경우 처리온도가 높아짐에 따라 조직은 점차 균질해지고 기공이 감소되어 간다는 사실이 잘 나타나 있다. 특히 1000°C 이상으로 강화처리된 시험편은 기공이 거의 없는 치밀한 조직이 형성되었고, 그 적층형태로 보아 코팅층이 완전히 재용융된 것으로 판단된다. 또한 1000°C 이상으로 강화처리된 시험편의 경우 기재와 코팅층의 계면도 명확하게 구분되지 않은 것으로 미루어 이 조건하에서 양자간에 야금학적인 결합이 이루어진 것으로 판단된다.

Fig. 2는 강화처리 온도의 변화에 따른 코팅층 단면의 미소경도 변화를 나타낸 것이다. 코팅층의 단면 미소경도는 강화처리에 의해 현저히 상승되었는데, 특히 800 및 900°C 의 조건하에서 강화처리된 시험편에 있어서 그 상승폭이 더욱 크게 나타났다. 이러한 결과는 Fig. 1의 조직사진으로부터도 알 수 있는 바와 같이 강화처리에 의해 코팅층의 조직이 점차 균질해지고 기공도 감소되었으며, 또한 강화처리에 의해 입자들 사이의 결합력이 크게 증가되었기 때문인 것으로 생각된다. 한편 1000°C 이상으로 강화처리된 시험편의 경우 코팅층의 단면미소경도는 800 및 900°C 로 강화처리된 시험편에 비해 훨씬 낮게 나타났는데, 이는 이 조건하에서 코팅층이 재용융되면서 B, Si 등이 flux로 작용하여 코팅층의 조직을 연화시켰기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 강화처리 온도의 변화에 따른 코팅층의 열충격특성의 변화를 나타낸 것으로, 코팅층의 내열충격성은 강화처리에 의해 크게 개선되는 결과를 나타내고 있다. as sprayed 시험편의 경우 7회의 열충

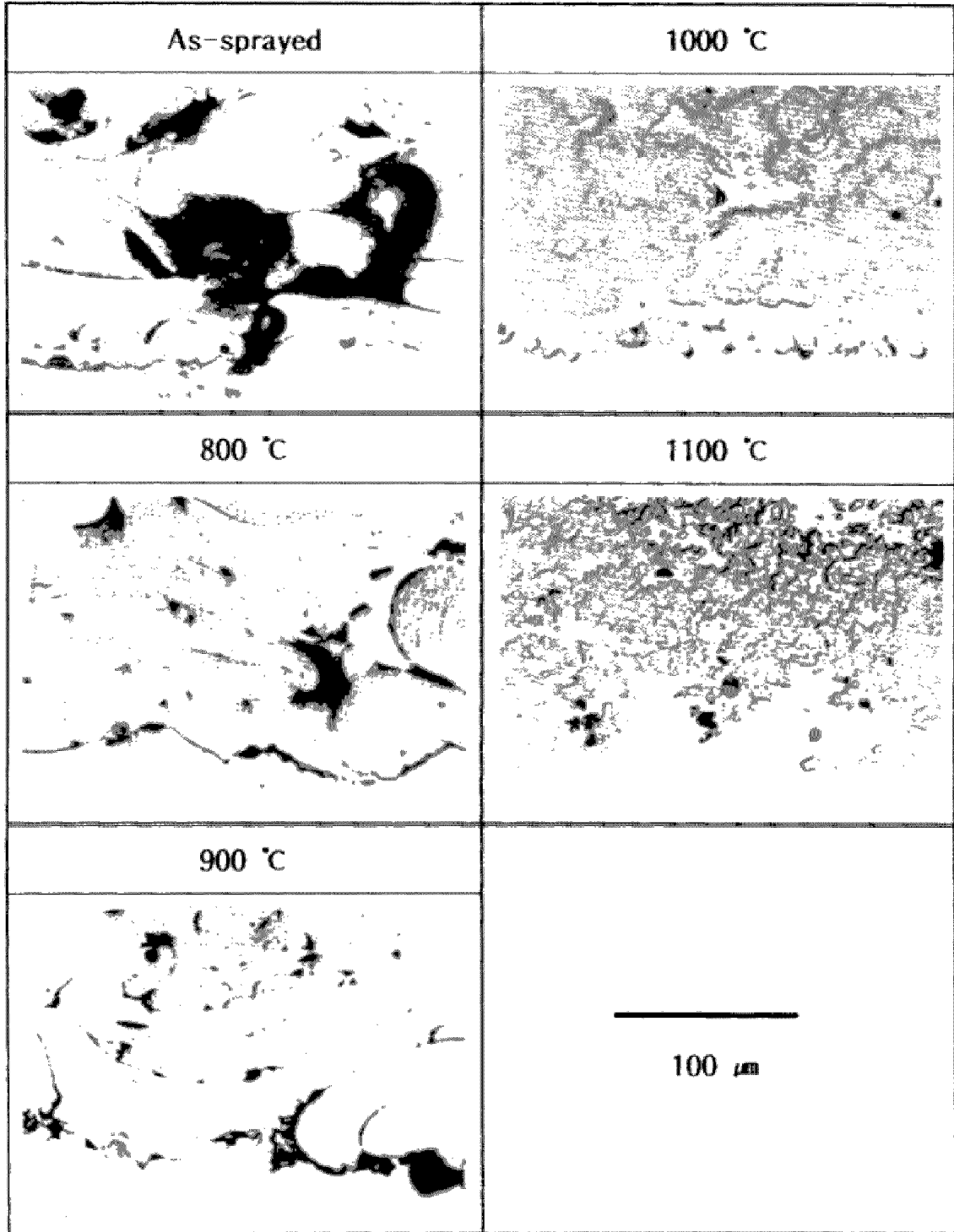


Fig. 1 Microstructures with different strengthening treatment conditions

격에 의해 초기손상이 발견되었고, 이후 20회의 열충격에 의해 코팅층의 약 20% 정도가 박리되는 파손이 발생하였으나, 강화처리된 시험편의 경우 초기손상이 발견되기까지의 열충격 반복회수가 크게 증대되었으며, 특히 1000°C 이상으로 강화처리된 시험편은 50회의 열충격에도 전혀 손상이 발견되지 않았다. 또한 강화처리된 시험편의 경우 코팅층의 10% 정도가

손상되는 전체적인 파손은 어떠한 조건하에서도 발생하지 않았다.

강화처리에 의한 내열충격성의 개선효과를 나타내는 이상의 결과는 크게 두가지 요인에 의한 것으로 해석된다. 그 하나는 강화처리에 의한 입자와 입자사이의 결합력의 증대이고, 다른 하나는 강화처리에 의한 기체와 코팅층사이의 밀착강도의 증대이다. 전술

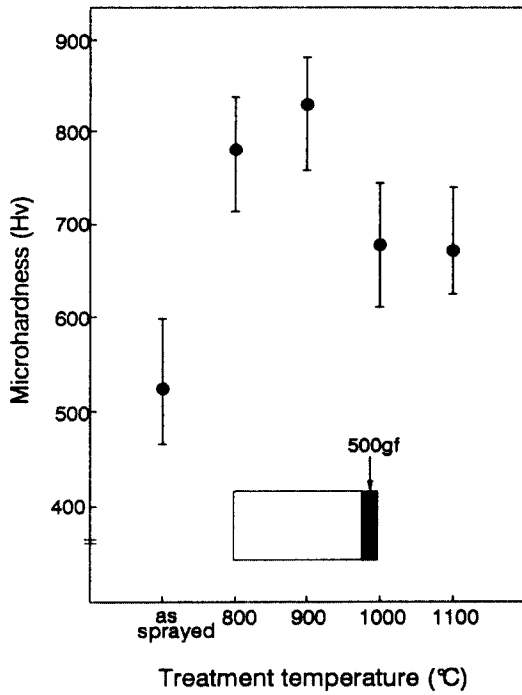


Fig. 2 Microhardness with different strengthening treatment conditions

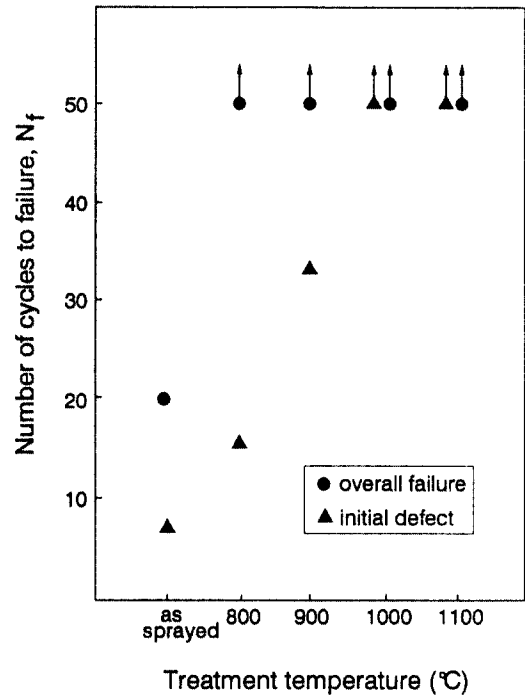


Fig. 3 Results of thermal shock test with different strengthening treatment conditions

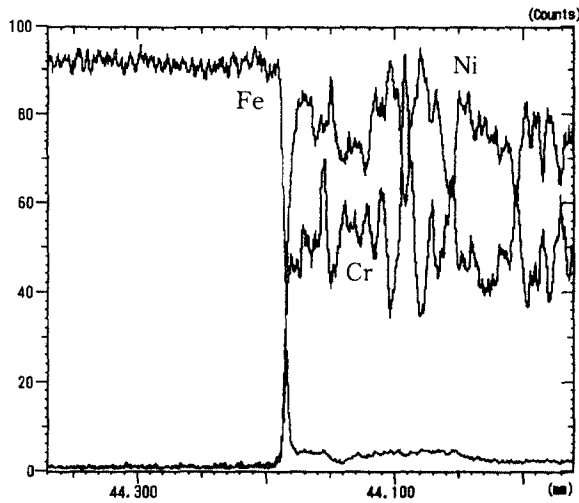
한 열충격시험에서 강화처리를 실시한 시험편의 경우 초기손상이 발견되는 열충격 반복회수가 증대하는 것은 강화처리에 의해 입자와 입자 사이의 결합력이 증대된 결과를 반영하는 것이고, 강화처리된 시험편의 경우 50회의 열충격에도 코팅층의 박리나 부풀음 등 전체적인 파손이 발생하지 않는 것은 강화처리에 의해 기재와 코팅층사이의 결합력이 크게 증대된 결과를 반영한 것이라 할 수 있다.

이상의 논의와 전술한 Fig. 1의 결과를 보면 100 0℃이상으로 강화처리된 시험편의 경우 기재와 코팅층사이의 계면에서 견고한 야금학적인 결합이 이루어졌다는 사실을 짐작할 수 있는데, Fig. 4는 이러한 야금학적 결합이 어떤 원소에 기인하는가를 알아보기 위한, 기재층의 Fe와 코팅층의 Ni 및 Cr 3원소에 대한 EPMA 분석결과를 나타낸 것이다. 강화처리된 시험편 (b), (c)의 경우 as sprayed 시험편 (a)와는 달리 기재와 코팅층 사이의 계면을 통한 확산이 이루어졌다는 사실이 명확하게 나타나 있다. 또한 800℃로 강화처리된 시험편 (b)와 1000℃로 강화처리된 시험편 (c)를 비교해 보면 처리온도가 높을수록 확산이 깊어져, 확산이 온도에 크게 영향받는다라는 사실이 잘 나타나 있으며, 전술한 열충격시험의 결과도 이러한 사실을 잘 반영하고 있는 것이다. 한편 이 분석결과로부터 기재와 코팅층사이의 계면을 통한 확산은 주로 기재층의 Fe와 코팅층의 Ni에 의한 것이

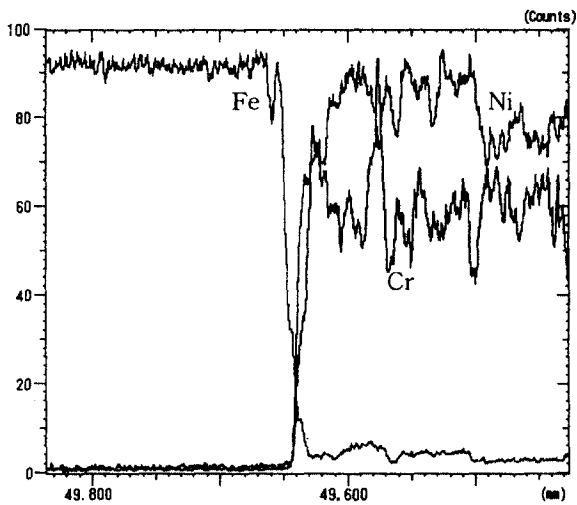
며, Cr에 의한 확산은 상대적으로 매우 적은 것으로 판단된다.

Fig. 5는 강화처리 온도의 변화에 따른 코팅층의 이로우전특성의 변화를 나타낸 것이다. 용사법에 의해 작성된 코팅층은 같은 재질의 소결체에 비해 이로우전특성이 크게 떨어지는데, 본 실험의 결과 as sprayed 시험편은 0.3267g의 코팅층 탈락량을 나타내었다. 이 코팅층 탈락량은 강화처리 온도가 높아짐에 따라 점진적으로 감소되는 결과를 나타내고 있는데, 코팅층의 재용융온도보다 높은 온도조건하에서 강화처리된 두 시험편들 사이에서는 뚜렷한 변화가 관찰되지 않았다. 이는 Fig. 1의 조직사진에서도 알 수 있는 바와 같이 강화처리에 의해 코팅층의 조직이 점차 치밀해지고, 특히 1000℃이상의 온도조건하에서는 코팅층이 재용융되면서 코팅층을 구성하고 있는 입자들 사이의 결합력이 월등히 증가된 결과를 반영하고 있는 것으로 판단된다.

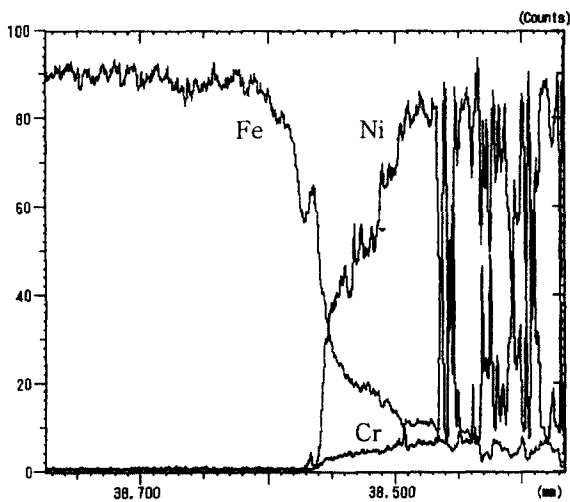
전보에서 저자 등은 Ni-기 자용성합금의 코팅에 있어서 용사입자의 편평경동이 코팅층의 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하여, 적절한 용사변수 선정의 중요성을 강조한 바 있는데, 본 연구의 결과 코팅층의 조직이나 기계적 특성은 용사후의 강화처리에 의해서도 크게 개선될 수 있다는 사실이 정량적인 데이터에 의해 확인되었다.



(a) as sprayed



(b) 800°C treated



(c) 1000°C treated

Fig. 4 EPMA analysis with different treatment conditions

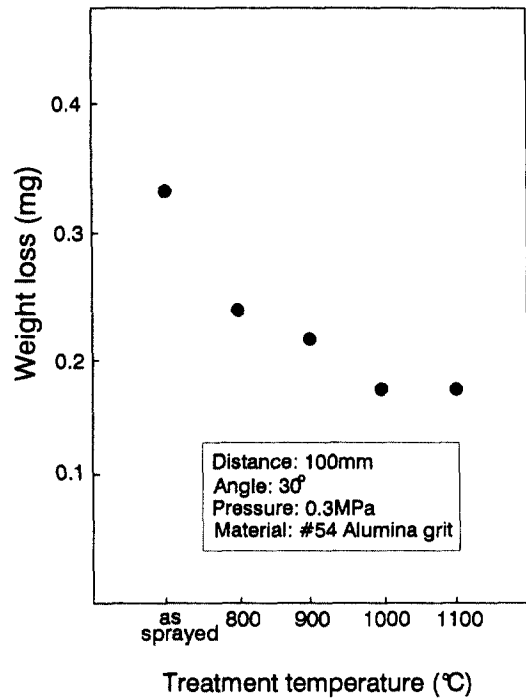


Fig. 5 Results of blast erosion test with different strengthening treatment conditions

4. 결 론

본 연구에서는 Ni-기 자용성합금 코팅에 관한 기초적 연구의 일환으로, 플라즈마 용사된 Ni-기 자용성합금 코팅층에 대해 진공로중에서 처리온도를 변화시키면서 강화처리를 실시하고, 이러한 강화처리가 코팅층의 조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 검토하였다. 코팅층의 조직은 강화처리 온도가 높아짐에 따라 균질해지고 기공도 감소하였다. 특히 1000°C 이상으로 강화처리된 코팅층의 경우 코팅층의 재용융으로 인해 기공이 거의 없는 치밀한 조직이 형성되었다. 또한 강화처리 온도가 높아짐에 따라 코팅층의 내열충격성 및 내이로우전성은 크게 개선되었다. 다만, 코팅층의 경도에 있어서는 800 및 900°C로 강화처리된 코팅층이 그 이상의 온도로 강화처리된 코팅층에 비해 높은 경도를 나타내었다.

참고문헌

1. R. A. Sulit, "AWS Guide for the Protection of Steel with Thermal Spray Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites", Proceedings of the 1993 National Thermal Spraying Conference, Anaheim, CA, June, 1993

June, 1993

2. D. V. Rigney et al., "PVD Thermal Barrier Coating Applications and Process Development for Aircraft Engines", J. of Thermal Spray Technology, Vol. 6, No. 2, pp. 167~175, 1997
3. 岡本 隆治 外, "ガスタービン・エンジン用・耐熱耐食コーティングの開発", 川崎重工技報 112號, pp. 1~7, 1992
4. M. Hattori et al., "Plastic Flame Spraying for Sea Water Pipeline", NKK Technical Report, Kawasaki, Japan, 1991 n 135, pp. 122~128, 1991
5. L. Kamo, R. Kamo and E. Valdmanis, "Ceramic Coatings for Aluminum Engine Blocks", SAE 911719, pp. 175~184, 1991
6. 長坂秀雄 外, "溶射ハンドブック", オートプレス, pp. 387~395, 1987
7. 김영식, 김현수, 남기우, "Ni-기 자용성합금의 코팅에 관한 기초적 연구(I) - 용사입자의 편평 거동이 코팅층의 기계적 특성에 미치는 영향 -", 한국동력기계공학회지, 제1권, 제1호, pp. 70~79, 1997
8. 大森 明, 李 長久, "溶射皮膜の特性とその評價について", 溶接技術, 第8卷, 第3号, pp. 111~112, 1989