

알루미늄청동 아크 용사층의 성질에 미치는 용사 공정변수 및 후열처리 영향

김태호, 박영구, 윤정모, 송요승*

전북대학교 신소재공학부, 신소재 개발 연구소, 한국항공대학교 항공재료공학과*

Effect of process parameter and post heat treatment on the properties of aluminium bronze arc spray coating

T. O. Kim, Y. K. Park, J. M. Yoon, Y. S. Song*

Faculty of Advanced Materials Engineering & Institute of Advanced Materials
Development, Chonbuk National University, Chunju, chonbuk, 561-756, Korea.
Aero Materials Engineering, Hankuk Aviation University,
Koyang-city, Kyonggi-do, 412-791, Korea.*

Abstract

In this study, as an effort to improve the brittleness of coating layer, aluminum bronze coatings formed on steel substrates by arc jet spray process were subjected to post heat treatment. After each treatment, mechanical properties such as hardness, and UTS, and microstructural characterization of the specimens were investigated. The results showed that the hardness in the coatings slightly decreased with increasing heat treatment time and temperature. The UTS of as-sprayed coatings was 4.31kgf/mm² and slightly increased to 5.51kgf/mm² after heat treatment at 900°C for 120min. On the other hand, the interdiffusion of copper and aluminum particles after heat treatment lead to decrease of the porosity density and increase the bond strength.

Key words : Arc jet coating, Aluminium bronze, Porosity, Thermal spray, Heat treatment, Surface hardening.

1. 서 론

용사코팅법은 자동차 산업, 항공산업 뿐만 아니라 제조업을 포함한 모든 부분의 다양한 응용 측면에서 마모와 부식 문제를 해결하는데 사용되어 왔다.¹⁾ 보수 용접 측면에서는 부품의 원가를 줄이

고 사용수명을 연장시키기 위한 용사법이 사용되고 있고 실제로 철강 산업이나 제지산업에서 압연 롤이나 제지롤 등에 용사 방법이 응용되고 있다.²⁾

용사법은 소재 표면에 금속 또는 세라믹 등의 용사 재료를 고온의 열원을 이용하여 용융 또는 반응 용 입자 상태로 고속 분사시켜 소재 표면에 충돌시

켜 소정의 용사 피막을 형성하는 표면 가공 기술의 일종이다.³⁻⁵⁾ 용사법에는 용사 재료를 용융하는 열원에 따라 가스 용사법 (flame spraying), 아크 용사법 (arc spraying), 플라즈마 용사법 (plasma spraying), 가스폭발 용사법 (detonation flame spraying) 및 HVOF (high velocity oxy fuel) 등으로 분류되고 있으며 용사 재료는 분말이나 선재, 봉상형으로 만들어진 금속 및 합금 세라믹, 써멧트, 자용성 합금 등이 있다.⁶⁾

일반적으로 가스 또는 아크 용사법에 의한 용사 피막에는 5~20% 정도의 산화물이나 기공이 혼입되어 있으므로 조직이 치밀하지 못하고 용사층 내의 입자 상호간의 결합강도 및 피막과 소재와의 접착강도가 낮은 결점이 있다.

본 연구에 사용된 알루미늄 청동은 내해수성, 내부식성이 좋아서 수명이 길기 때문에 선박용 대형 프로펠러에 많이 사용된다. 또한 강도, 경도, 내마모성이 높으므로 압연기 screw down net, washer, slapper, 각종 기어 등의 부품에 적합하다.⁷⁾ 알루미늄 청동 용사층의 경우에도 bond 강도가 높고, 코팅층이 치밀하며, 표면 내마모성 및 내식성이 우수하다. 또한 코팅 능력이 우수하여 substrate의 선택의 폭이 넓으며, 결합강도 뿐만 아니라 날카로운 가장자리 부분의 코팅에도 우수한 코팅 능력을 나타낸다. 그러나 위에서 언급했듯이 코팅층 내의 기공 및 산화물의 존재에 의해 코팅층이 매우 취약하다는 단점이 있다. 또한 이러한 기공이 많은 용사층이 부식환경에서 사용된다면 부식액이나 가스가 용사층내에 스며들어지지 자체를 부식시켜 결합강도를 저하시키는 단점이 있다.⁸⁾

따라서 본 연구에서는 알루미늄 청동 용사층의 표면 특성 및 기계적 특성의 향상을 도모하고자 최적 용사 조건에서 용사한 알루미늄 청동 용사층을 아르곤 분위기에서 열처리를 실시하여 용사층의 미세조직, 경도, 인장강도, 계면에서의 변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 코팅재료 및 용사

금속 모재는 연강판을 사용하였다. 본 연구에 사용된 코팅재료로는 Cu-Al-Fe로 구성된 TAFA사의 알루미늄청동 wire를 사용하였다. 용사전 모재의 전처리로는 모재 표면의 산화물 및 불순물을 제거하기 위해 그라인더 페이퍼를 이용하여 표면을 연마하였다. 용사는 TAFA사의 8850MH arcjet spray Gun을 사용하여 표 1의 용사 조건으로 용사하였다.

Table 1. Arcjet spraying experimental conditions.

| Spray paramete | Spray condition |
|-----------------|------------------|
| Airjet Pressure | 60psi 이상 |
| Spray Pressure | 60psi 이상 |
| Arc Voltage | 31V |
| Arc Current | 75, 100, 120 (A) |
| Spray Distant | 10, 15, 20 (cm) |

Table 2. Characteristics of wire used arc spraycoating.

| Wire | Composition (wt%) | Diameter (mm) |
|------------|-------------------|---------------|
| TAFA - 10T | Cu-7.0%Al-0.5%Fe | 1.6 |

2.2 용사층의 특성 평가

용사층의 두께는 약 1mm 정도였다. 또한 용사층의 경도 및 인장강도 측정을 위해 1.5-2mm 정도 두께로 용사 후 금속 기지로부터 용사층을 박리시켰다. 용사층의 후열처리의 영향을 알아보기 위해 열처리는 Ar gas 분위기의 관상로에서 승온속도 10°C/min, 냉각 속도 3°C/min으로 실시하였으며, 각 용사 조건에 대하여 열처리 온도 800°C, 850°C, 900°C에서 각각 30분, 50분, 120분간 유지 후 로냉 시켰다.

용사층의 경도 측정은 Rockwell 15T (1/16"

steel ball, 15kgf)을 사용하여 측정하였으며, 각각에 대해 7회 측정 후 5개로 평균을 구하였다. 인장시험편은 ASTM 370 subsize 규격에 따라 제작하였으며, Instron사의 Instron 44831을 이용하여 인장시험을 실시하였다. 용사층의 미세조직 및 성분분석은 SEM, 광학현미경, EDS를 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용사층 미세조직

용사전 wire의 미세조직은 α 상으로 구성되어 있으며, wire의 미세조직은 그림 1와 같다. 그림 2는 아크전류 변화에 따른 코팅층 표면 상태를 관찰한 주사 전자현미경 결과중 대표적인 예로 용사거리

15cm에서의 용사한 시편의 표면부 미세조직이다. 아크 전류가 너무 낮거나 높은 경우(그림 2(a), (c))에는 비말(splat)의 퍼짐이 좋지 않아 표면 상태가 거칠고 그림 2(a)의 경우 반응용된 입자가

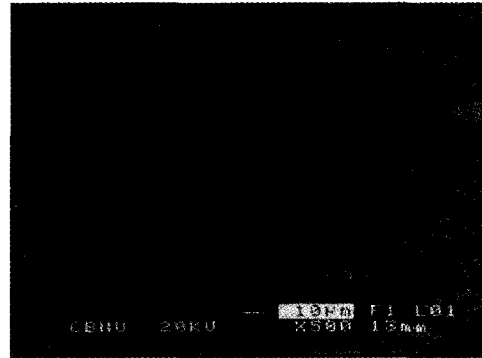


Fig. 1. SEM microstructure of aluminium bronze wire before spraying.

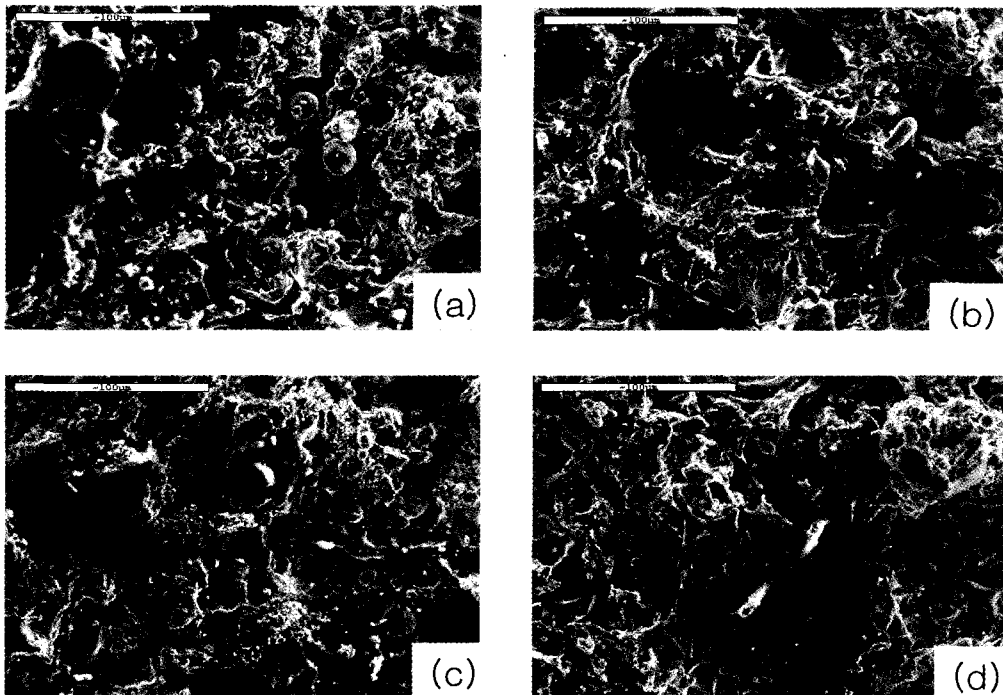


Fig. 2. SEM microstructures showing the surface layer of as-sprayed coating at spray distance 15cm and arc current of (a) 75A, (b) 100A, and (c) 120A, And (d) is for heat treated state of (c) at 900°C for 120min.

상당의 존재하고 있으며, 두 경우 모두 입자간의 결합이 좋지 않았다. 또한 아크전류가 높은 120A의 경우에는 표면에 미세한 입자들이 다수 관찰되고 있는데 이는 용사건의 출력이 증가함에 따라 용융 입자가 모재와 충돌시 충돌에너지가 증가하여 입자의 파괴가 일어났기 때문으로 사료된다. 그림 2(b)와 (d)는 각각 100A에서 용사한 것과 이

것을 900°C에서 2시간 동안 열처리한 것으로 용사층 표면의 상태는 이 용사 조건에서 가장 양호 하였으며, 열처리 후 표면부 미세조직의 변화는 거의 없었다.

용사 거리 15cm에서 아크 전류 변화에 따른 코팅면 및 계면을 관찰한 주사 전자현미경 사진을 그림 3에 나타내었다. 각 코팅층은 어둡게 보이는 층

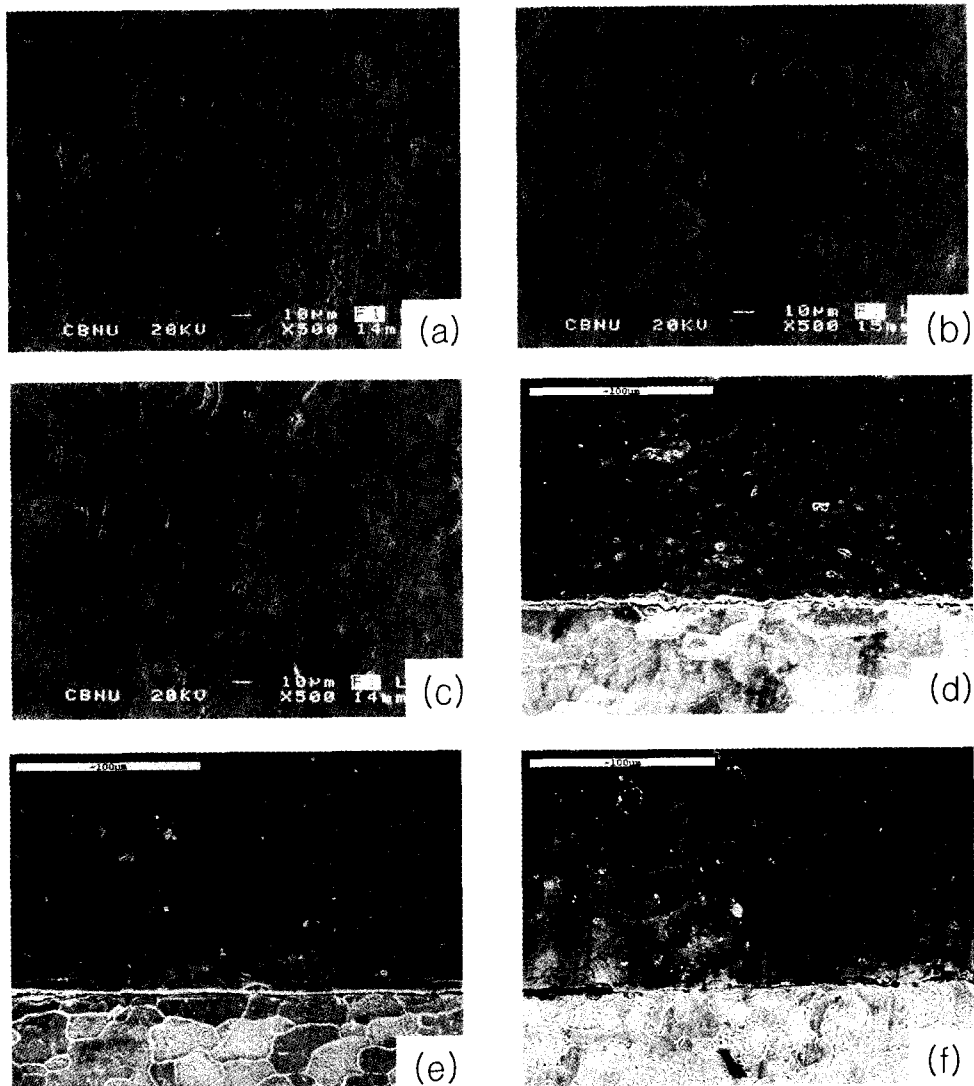


Fig. 3. SEM micrographs showing surface layer and cross-sectional area of spray coatings produced with different arc current, (a) and (d) 75A, (b) and (e) 100A, (c) and (f) 120A.

상 조직과 밝게 보이는 층상 조직 그리고 미용융된 것으로 생각되는 검은 입자로 구분되어 있다. 아크 전류가 증가할수록 코팅층의 조직이 치밀해 지고 어두운 부분의 층상조직이 얇아지고, 검은 입자의 수도 줄어들고 있다(그림 3(a) ~ (c)). 이는 아크 전류가 증가함에 따라 용융 입자의 비행 속도가 빨라져서 용체의 산화가 적고, wire가 충분히 용융되었기 때문으로 생각된다. 그러나 그림 3(c)의 경우는 위에서 언급되었던 것 같이 아크 불안정으로 인해 미용융된 입자가 많고 기공도도 증가하였다. 일반적으로 용사층에는 약 5~20vol%의 기공이 존재하는데, 이러한 기공들은 splat과 splat 사이의 접촉면을 감소시키기 때문에 코팅 밀도가 감소

되어 결합강도를 감소시키며, 용사층이 취약해지는 원인이 되기도 한다. 이러한 코팅층의 잔류 기공도는 용사 후 후처리 과정을 통해서 줄일 수 있다. 코팅층과 기판 계면의 결합 관계를 미세조직적으로 보면(그림 3(d) ~ (f)), 아크 전류가 증가함에 따라 결합상태가 양호함을 알 수 있었다.

그림 4는 100A-15 cm의 용사조건에서 용사 후 900°C에서 120분간 열처리한 용사층의 미세조직과 EDS 분석 결과이다. 그림 4(a)는 900°C에서 120분간 열처리한 코팅층의 사진으로 열처리전의 형상과 유사한 형상을 나타내고 있다. 코팅층에서 나타나는 상들을 X-ray mapping으로 정성분석한 결과(그림 4(b)), 조직은 Al-96.5%Cu 조성의

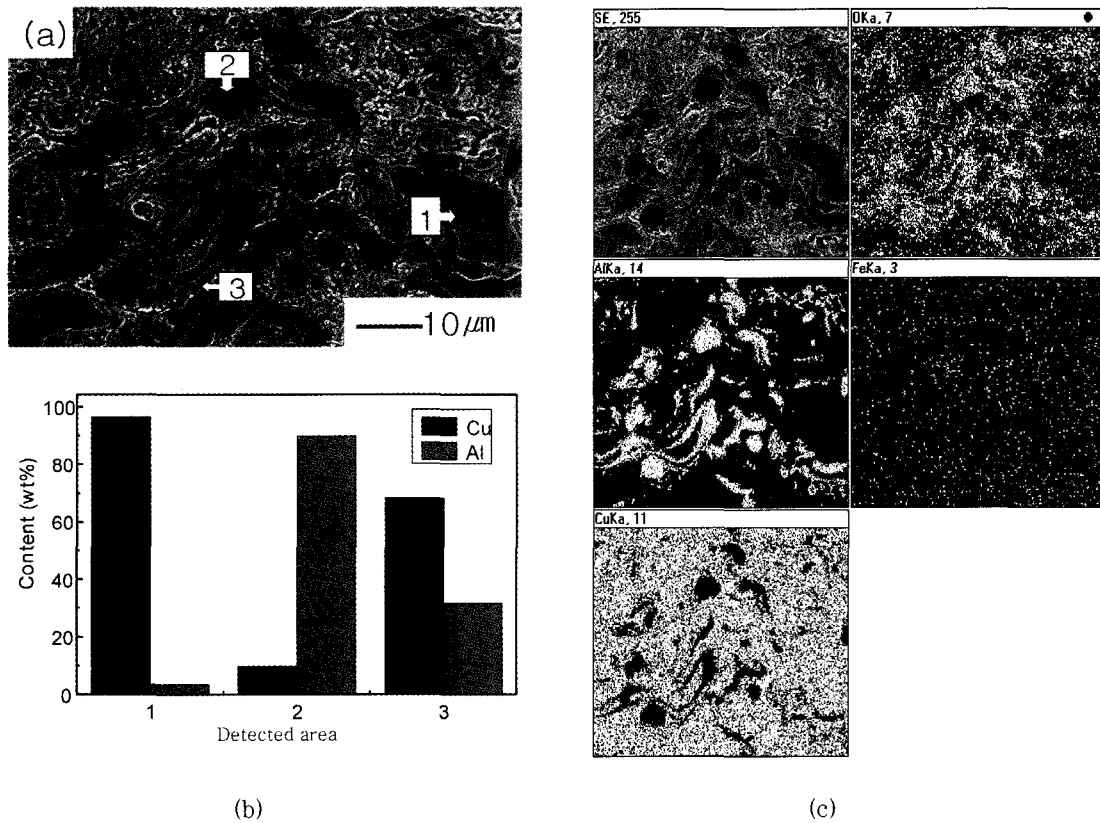


Fig. 4. The microstructure of spray layer (a), contents of Cu and Al at each phase in the microstructure (b) and X-ray maps of compositions (c).

α 상으로 나타나며, 조직2는 반응용된 입자로 Al - 9.73%Cu 조성의 γ 상이고, 그리고 3은 Cu와 Al 성분이 용사에 의해 Al -68.2%Cu로 합금화된 형태의 γ_2 상으로 존재하고 있다.

그림 5는 열처리 후의 미세조직의 변화를 나타내는 주사전자현미경 사진으로, 용사층의 미세조직은 columnar 형태의 미세조직을 보이고 있으나 결합상태가 약하고 다수 기공의 존재를 확인할 수 있었다(그림 5(a)). 900°C에서 120분간 열처리후 미세조직을 보면, 입자간의 상호확산에 의해 Cu입자의 결합상태가 치밀하며, 기공이 감소하였음을 알 수 있다. 또한 결정립의 성장이 일어났음을 확인할 수 있다(그림 5(b)).

그림 6는 900°C에서 120분간 열처리에 따른 기지와 용사층 계면에서의 변화를 나타낸 사진이다. 계면 접합상태를 보면 용사층의 어떠한 상과 접합

을 이루고 있는냐에 따라 접합 상태에 상당한 차이를 보이고 있는데, 미용용된 입자나 어두운 층상조직과 접합한 경우 열응력에 의해 박리가 일어나고 있으며, 밝은 층상조직과 접합을 이루고 있는 경우는 접합 상태가 양호하였다. 어두운 층상조직은 위에서 언급된 바와 같이 산화물이나 Cu와 Al의 혼합층으로, 산화물층이 계면의 접합강도 및 입자간 결합력을 저하시키는 원인 작용한다는 것을 추측할 수 있다.

그림 7은 용사 후 900°C에서 여러 시간동안 열처리에 따른 기지금속과 용사층 계면 부근의 Cu 함량의 변화를 나타낸 것이다. EDS 분석결과 열처리 온도가 증가함에 따라 기지금속과 용사층의 계면 부근에서 Cu 함량이 높아짐을 볼 수 있다. 이는 높은 열처리 온도에서 장시간 열처리에 따른 기지금속과 용사층에서의 구리의 확산 결과로 사

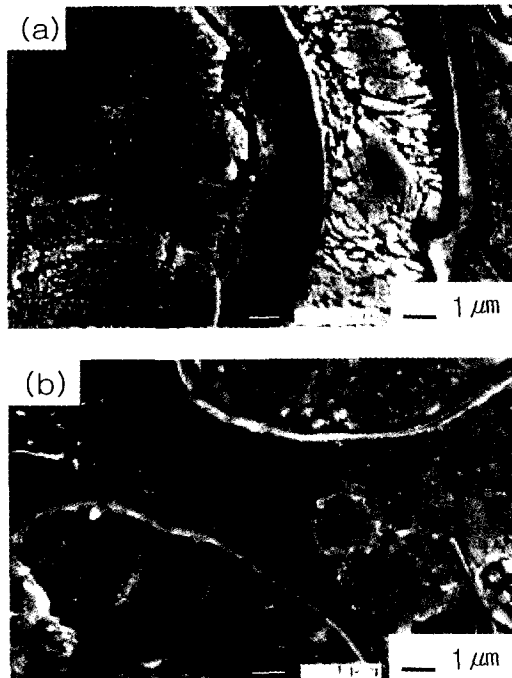


Fig. 5. Variation of microstructures of specimens (a) as-coated, and (b) heat treated at 900°C for 120min.

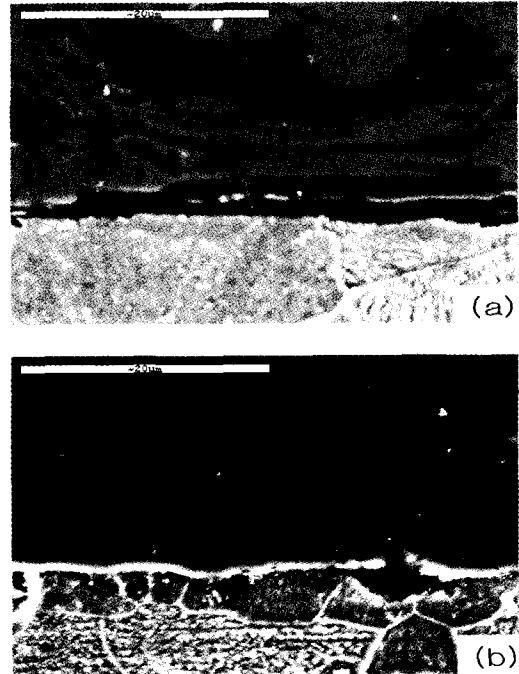


Fig. 6. SEM micrographs of cross sectional area for (a) as-sprayed, and (b) heated specimen at 900°C for 120 min

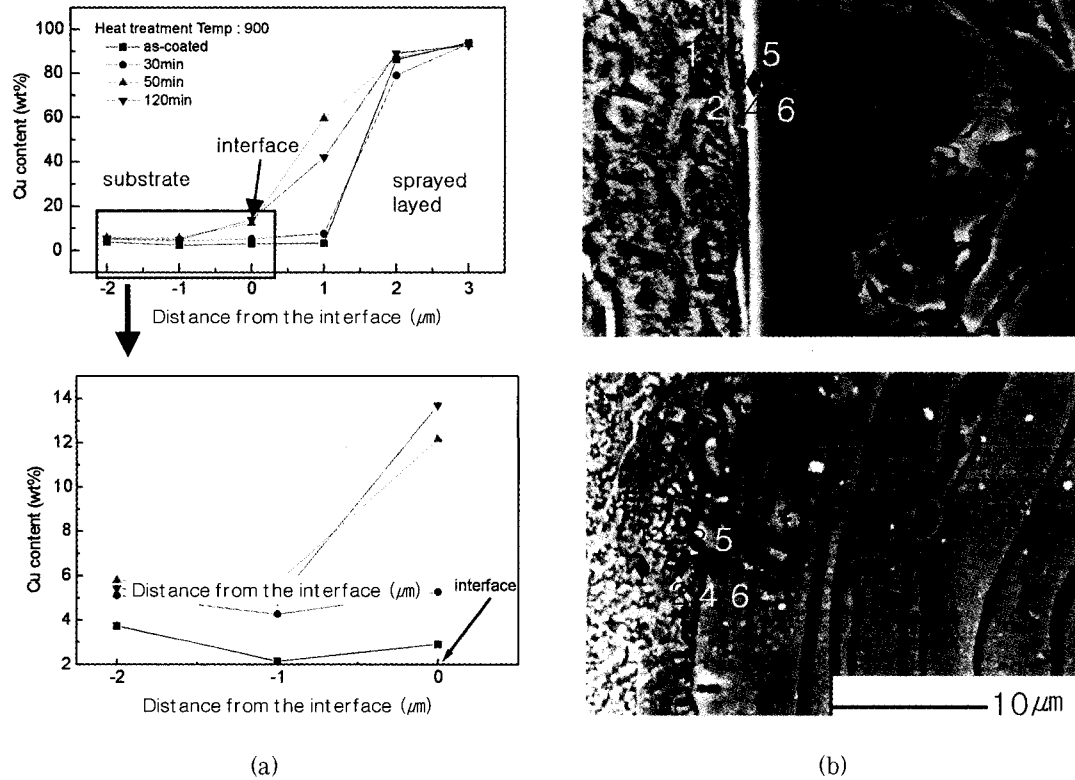


Fig. 7. Distributions of Cu content at the interface of (a) heat treated specimens at 900 °C, and (b) examples of microstructures and analyzed positions.

료된다. 이러한 확산작용에 의해 계면의 접합상태가 개선되었을 것으로 추측된다.

3. 2. 경도의 변화

그림 8은 열처리 전후의 용사층 표면부 및 단면부의 경도를 나타낸 것이다. 열처리전의 용사층 표면부의 아크전류 및 용사거리에 따른 경도값의 변화를 그림 7(a), (b)에서 보여주고 있는데, 동일 용사 거리에서 용사건의 출력이 증가함에 따라 코팅층의 밀도가 높고, 조직이 치밀해져서 밀착성이 향상되어 경도가 증가하였다. 또한 용사거리가 긴 20cm에서는 용융입자의 비행거리가 길어짐으로 비행도중 용융 입자가 과냉되고 입자의 속도가 감소되어 모재에 충돌하는 순간 충분한 열적, 기

계적 에너지를 갖지 못하고 그 결과 발생하는 기공의 증가와 입자간 결합의 약화로 용사층의 경도는 감소하게 된다.

그림 8(b), (d)는 100A-15cm에서 용사한 용사층 표면부 및 단면부를 열처리한 후의 경도 변화를 보여주고 있다. 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 경도값이 감소함을 볼수 있다. 용사층 표면부 및 단면부의 경도값이 각각 74.8H_{R15T}, 78.7H_{R15T} 이었으나, 900 °C에서 120분간 열처리했을 경우 경도값이 각각 68.2H_{R15T}, 71.4H_{R15T}로 감소하였다. 이러한 결과는 열처리에 의해 용사층의 입자간 결합은 강화되었으나, 고온의 어닐링 처리로 인해 잔류응력이 감소되고 조직의 회복에 의해 경도값이 감소한 것으로 사료된다.

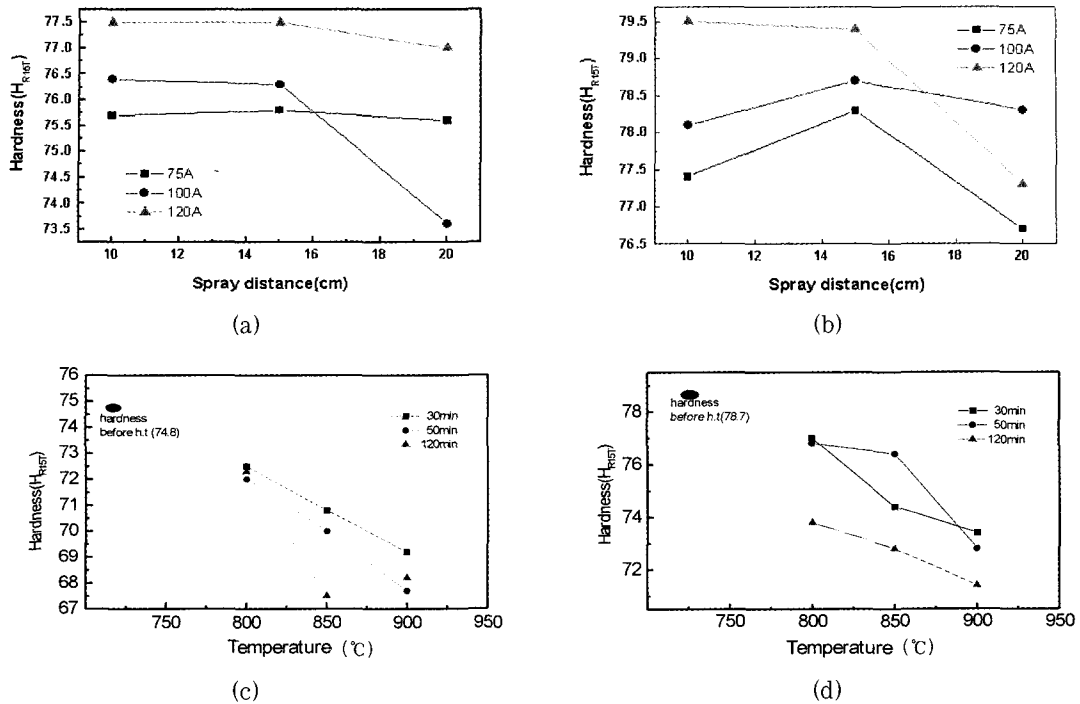


Fig. 8. Variation of hardness with spray parameters and heat treatment for (a) as-sprayed surface layer and (b) cross sectional area, and (c) heat treated surface layer and (d) cross sectional area.

3. 3. 인장강도 및 파단면

그림 9는 열처리 전후의 파단면의 미세조직 및 인장강도 측정값을 나타낸 것이다. 열처리전 용사 피막의 파단면은 용사층이 치밀하지 못하고 기공이 많이 존재함을 볼 수 있었으며, 파괴는 주로 미용융된 입자 주위와 기공부의 결합이 약한 부분에서 파괴가 일어났다(그림 9(a)). 반면, 900°C에서 120시간 열처리한 인장시편의 파단면을 보면 용사전과 비교하여 기공의 감소 여부는 알 수 없으나 입자간 결합이 더욱 치밀하다는 것을 알 수 있다. 또한 반응용된 구형의 작은 입자들도 감소하였음을 알 수 있다(그림 9(b)).

그림 9(c)에서는 인장강도의 변화를 보여주고 있는데, 열처리전 용사층의 인장강도는 4.31 MPa에서 900°C에서 120분간 열처리한 용사층의 인장강도는 5.51 MPa로 증가하였다. 위의 결과에서

보여지는 것과 같이 인장강도가 증가한 것은 열처리에 의해 고온에서 장시간 어닐링 처리함에 의해 입자간의 결합력이 좋아지고 기공이 감소한 것으로 사료된다. 또한 어닐링 처리로 인해 용사층에 존재하는 잔류응력이 제거된 것으로 추측된다.

4. 결 론

아크젯 용사법에 의해 연강 substrate에 알루미늄 청동을 용사한 후 용사층의 취약성을 개선하기 위해 후열처리 조건을 변화하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 여러 용사 변수중 알루미늄 청동의 가장 적절한 용사 조건은 아크전류 100A에 용사거리 15cm인 경우이고, 피복층의 미세조직이 가장 건전하였다.

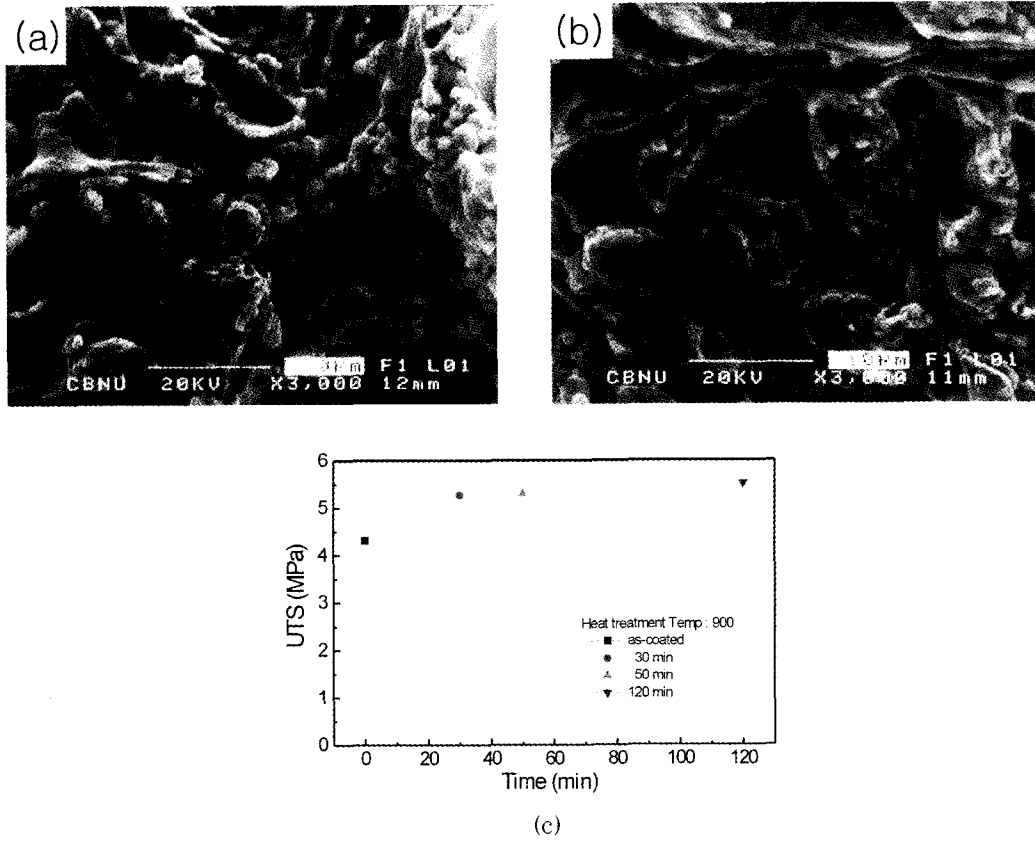


Fig. 9. Variation of fractography of fractured surface of (a) as-coated, and (b) heat treated specimens, and (c) tensile strength

2) 열처리에 따라 용사층내의 Cu 입자의 성장이 일어나고, 입자와 입자간의 상호확산에 의해 결합 상태가 좋아졌다.

3) 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 경도는 감소하였으며 이는 고온의 어닐링 처리에 의한 미세조직 성분의 연화에 의한 것이다.

4) 열처리에 의하여 용사층 계면 부근에서 모재 내로 Cu와 Al의 확산이 일어나서 계면 접합성이 향상되고, 입자간의 상호확산에 의하여 결합력이 강화되며 기공률이 감소하게 되어 인장강도는 약간 증가하였다. 결과적으로 알루미늄 청동의 아크 용사층의 취성은 후열처리에 의하여 개선될 수 있다.

후 기

본 연구는 1999년도 전북대학교 금형 기술 혁신 센터(TIC)와 자동차 신기술연구소의 연구비 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. I. H. Hoff : Welding & Metalabrication, July, (1995) 266
2. Walter F.Emerson : Welding Design & Fabrication, August, (1995) 20

3. B.N Chapman and J.C. Anderso : Academic Press, London (1974)
4. H. Herman, Adv. Mat. Proc, 137 (1990) 41
5. Shigeru Kitahara : J. of The Surfaced Finishing Society of Japan 41 (1990) 917
6. Jung Hyuk Yi : Strengthening of Thermally Sprayed Coatings, December (1990) 7
7. 洪鍾徽 : Non-ferrous metal materials (1998) 118-124
8. TAFE : Model 8850MH Arc Spray system Operator's Manual, 1.9.1.2-10T
9. 김태호, 박영구, 송요승 : 대한금속학회 추계 학술 발표대회 개요집 (1999) p.240