

Cold spray를 이용한 WC-Co 코팅 (WC-Co coating by cold spray deposition)

김 형준*, 황 순영**, 권 영각*

* RIST 용접센터

** RIST 부품신소재센터

ABSTRACT WC-12~17%Co powders with nano- and micro-structures were deposited by cold spray process using nitrogen and helium gases. The results show that there is no detrimental phase transformation and/or decarburization of WC by cold spray deposition as expected. It is also observed that nano-sized WC in the feedstock powder is maintained in the cold spray deposition. It is demonstrated that it is possible to fabricate the nano-structured WC-Co coating with low porosity and very high hardness (~2050 HV) by cold spray deposition with reasonable powder preheating.

1. 서 론

일명 cold spray라 일컬어지는 코팅공정은 보통 1~50 μm (최근에는 200 μm 까지 가능하다고 보고됨)의 입도를 가진 금속이나 복합재료 분말을 압축가스 (He, N₂, 공기, 혹은 혼합 가스)의 초음속 제트로 가속시키면, 분말소재의 소성변형과 결합을 줄만한 충분한 속도 (보통 300~1300 m/sec), 즉, 임계속도에 이르게 되어 코팅이 형성된다는 신코팅공정 기술이다. 코팅 형성기구는 일반적으로 고속의 충돌이 분말의 얇은 금속산화막을 파괴하여 순간적으로 높은 압력과 온도에 의해 원자간 결합을 형성하는 것으로 알려져 있다. 따라서 일반적으로 순수한 고상상태 공정으로 이해되고 있으며, 최근에는 나노소재 코팅기술나 near net shape 공정기술로 많은 관심을 받고 있다. 코팅공정시 압축가스의 온도를 가열하면 (보통 최대 700°C까지) 같은 가스압력에서 가스 속도의 증대로 인하여 충돌입자의 부착율을 증가시킬 수 있게 된다 [1-6].

상기와 같이 소재 분말을 고온으로 용융시키지 않고 고상 상태에서 이루어지는 공정이므로 기존의 용사코팅 (Thermal Spray)의 단점을 극복하는 많은 장점을 지니게 된다. 많은 장점 중에서 특히, 나노 분말이나 비정질 분말을 코팅하거나

near net shape 제품 생산시 처음의 나노나 비정질 특성을 그대로 유지할 수 있는 공정으로 이해되고 있으며, 현재는 열적으로 민감한 Ti이나 Cu 같은 소재에서 좋은 결과가 발표되고 있다.

본 연구에서는 인성 부족으로 인하여 cold spray 공정으로는 제작이 곤란한 소재로 알려진 WC-Co 분말을 용사용 마이크로 분말과 나노 입자를 agglomeration 시킨 분말을 사용하여 cold spray 공정을 이용하여 코팅 제작후 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 분말의 기본 특성을 Table 1에서 정리하고 있으며, 그림 1과 2에서는 사용된 나노 분말의 형상과 내부 구조를 보이고 있다. 한편, Table 2에서는 본 연구에서 사용된 cold spray 조건을 나타내고 있다. Cold spray 시험은 RIST에서 자체 제작한 실험 장치를 이용하여 제작하였다.

코팅에 사용된 기판은 5 mm 두께의 SUS 304 철판을 사용하였으며, 코팅 전에 알루미늄으로 브레스팅 처리를 하였다. Table 2의 공정 조건에서 N₂ 사용시는 He 사용시보다 같은 압력 조건에서 낮은 가스 속도를 나타내므로, 높은 가스 속도를 주기 위하여 높은 가스 압력을 사용하였다.

Table 1. Characteristics of the feedstock powders used for this study.

Specimen code	Composition (wt.%)	Powder Size (μm)	WC size
A	WC-15%Co	1~20	Nano
B	WC-12%Co	5~45	Nano
C (Tafa 1342VM)	WC-12%Co	15~45	Micro
D (Tafa 1343VM)	WC-17%Co	15~45	Micro

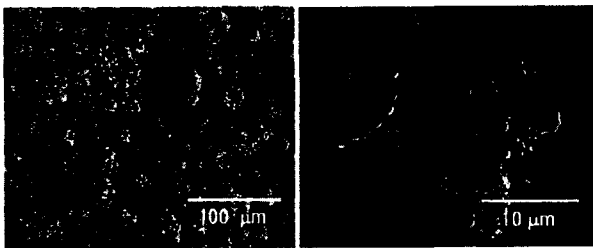


Fig. 1. Morphology and cross-sectional structure of the feedstock powder A in Table 1.

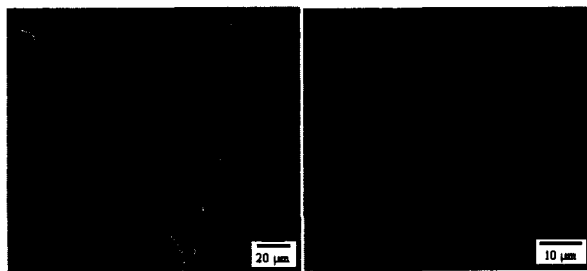


Fig. 2. Morphology and cross-sectional structure of the feedstock powder B in Table 1.

Table 2. Processing parameters of the cold spray deposition.

Parameters	A	B	C	D
Gas used	N ₂	He	N ₂	He
Spray distance (mm)	10	15	10	15
Powder feed rate (rpm)	30	30	40	30
Gas temperature (°C)	800	600	700	600
Powder preheat temperature (°C)	250	500	250	200
Gun pressure (kg/cm ²)	45	31	45	35
Gun travelling speed (mm/sec)	10	10	10	10
Pass number	4	2	2	2

3. 결과 및 고찰

Table 3에서는 cold spray로 제작된 WC-Co 코팅 시편의 기본 특성을 보이고 있다. 나노 분말을 사용한 경우가 상용화되어 사용되고 있는 마이크로 분말시보다 높은 경도 및 적층 효율을 보임을 알수 있다. 특히, B 코팅 시편의 경우는 경도가 2000 HV 이상으로서 본래의 WC 경도 (2000~2400 HV)에 근접함을 알수 있다.

그림 3에서는 A와 B 코팅 시편의 단면 조직 사진을 보이고 있다. 전반적으로 기공이 미세하고, 카바이드 입자의 크기는 약 200 nm로서 조직상으로도 카바이드의 상변태를 구분하기 곤란하였다. 또한, X-ray 분석 결과에서도 원래의 분말과 코팅이 거의 동일한 형태의 피크를 얻었다. 따라서 용사코팅시 나타나는 카바이드의 분해는 거의 전무한 것으로 사료된다.

Table 4에서는 코팅전 분말과 코팅 시편의 탄소량의 정량 분석 결과를 보이고 있다. 이것 또한 용사 코팅시 나타나는 카바이드의 탈탄 현상이 cold spray 코팅시는 전혀 나타나지 않음을 보이고 있다. 그림 3(b)에서 화살표는 미세 기공을 나타낸다.

Table 3. Characteristics of the coatings produced by the cold spray.

Specimen code	Thickness (μm)	Hardness (HV=500g)	Hardness by HVOF
A	300	1480 (1368~1560)	-
B	900	2053 (1926~2127)	-
C	250	984 (925~1035)	~1200
D	200	918 (741~1068)	~1100

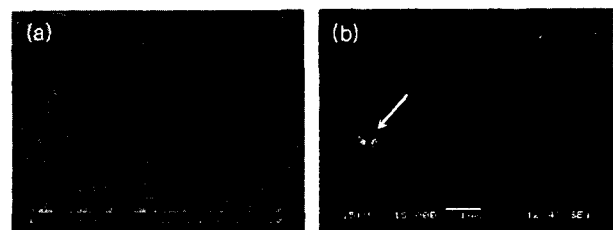


Fig. 3. Higher magnification view of cross-sectional secondary electron microscopy of A and B.

Table 4. The carbon contents (wt.%) in the powders and coatings.

	Powder	Coating
A	5.67	5.62
B	5.52	5.88

그림 4에서는 본 연구에서 사용된 10x2 mm의 slit 형태의 노즐 사용시 B 코팅의 단면 두께 변화를 보이고 있다. 첫 번째 패스보다는 두 번째 패스에서 더 높은 적층 효율을 보임을 알 수 있다. 또한, 노즐의 중앙에서 가장 가스 속도가 높고, 입자의 flux density가 높으므로 중앙의 두께가 가장 높고 가장자리로 갈수록 두께가 감소함을 보이고 있다.

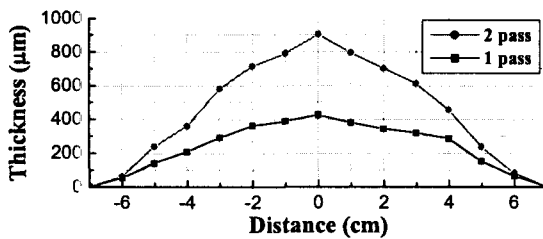


Fig. 4. Coating thickness variation of the B coating.

4. 결 론

나노 및 마이크로 카바이드 입자를 가지는 WC-12~17%Co (wt.%) 분말을 cold spray 공정으로 코팅을 제작하고 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1) Cold spray로 제작한 WC-Co 코팅 시편은 상변태가 카바이드의 탈탄 현상이 발견되지 않았다. 또한, 나노 크기의 WC 입자가 코팅후에도 그대로 유지되었다.

2) 나노 크기의 카바이드 입자가 마이크로 크기의 카바이드 입자보다는 cold spray 공정시 더 유리한 것으로 판단된다.

3) Cold spray 공정을 통하여 나노 입자의 WC-Co 코팅으로 매우 낮은 기공도와 매우 높은 경도의 코팅 제작이 가능함을 보여주었다.

4) Cold spray 공정 변수 중 분말 예열 조건이 매우 유용한 코팅 제작 변수임을 보여주었다.

후 기

본 연구의 일부는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 '나노소재기술개발사업단'의 지원(과제번호: 04K1501-01210)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. A. Papyrin : *Cold spray technology*, Advanced Materials & Processes, 2001, 49-51.
2. M.F. Smith, J.E. Brockmann, R.C. Dykhuizen, D.L. Gilmore, R.A. Neiser, and T.J. Roemer : *Cold spray direct fabrication - high rate, solid state, material consolidation*, Materials Research Society Symposium Process, 542 (1999), 65-76.
3. T. H. Van Sreenkiste, J. R. Smith, R. E. Teets, J. J. Moleski, D. W. Gorkiewicz, R. P. Tison, D. R. Marantz, K. A. Kowalsky, W. L. Riggs, P. H. Zajchowski, B. Pilsner, R. C. McCune, and K. J. Barnett : *Kinetic spray coatings*, Surface & Coating Technology, 111(1999), 62-71.
4. T.H.V. Steenkiste : *Kinetic spray: A new coating process*, Key Engineering Materials, 197 (2001), 59-86.
5. T. Stoltenhoff, J. Voyer and H. Kreye : *Cold spraying state of the art and applicability*, International Thermal Spray Conference, 2002, p.366-374.
6. 김형준, 이창희, 권영각 : Cold spray 기술, 대한 용접학회지, 20 (2002), 53-60.