

Spraying 기술 (I)

김 형 준

Spraying Technology (I)

Hyung-Jun Kim

우리가 흔히들 용사 (Thermal spray, 溶射) 코팅이라고 하는 기술은 코팅하고자 하는 소재 (분말이나 선재 형태)를 여러 형태 (플라즈마, 화염, 전기아크 등)의 열원을 이용하여 용융시켜 기판에 코팅하는 기술이다. 그러나, 최근에는 코팅하고자 하는 소재를 분말의 형태로 이용하면서 용융시키지 않고 고상 상태에서 순수하게 가스 속도만의 힘으로 코팅하는 소위 cold spray (kinetic spray) 기술이 개발되고 있다.

Fig. 1에서는 spraying 기술 사용시 일반적인 입자 혹은 화염의 온도와 속도를 보이고 있다¹⁾. 예를 들어, 플라즈마 열원을 이용하는 플라즈마 용사기법은 화염온도가 높으므로 (~20,000°C) 용융점이 높은 세라믹 소재를 코팅하는데 적당한 코팅 방법이라 볼 수 있다. 한편, cold spray 기술은 속도는 다른 기술에 비하여 가장 빠르고, 온도는 가장 낮은 기술로 분류되어 상온에서 혹은 약간 온도를 상승시켜 (가스 속도 증대를 위하여 최대 약 800°C 정도까지 예열) 순수한 고상 상태에서 코팅을 제조하는 기술이다. 또한, 같은 화염의 열원을 사용하더라도 코팅소재로서 분말을 사용하는 방법보다 선재를 사용하는 방법이 더 높은 속도를 보인다.

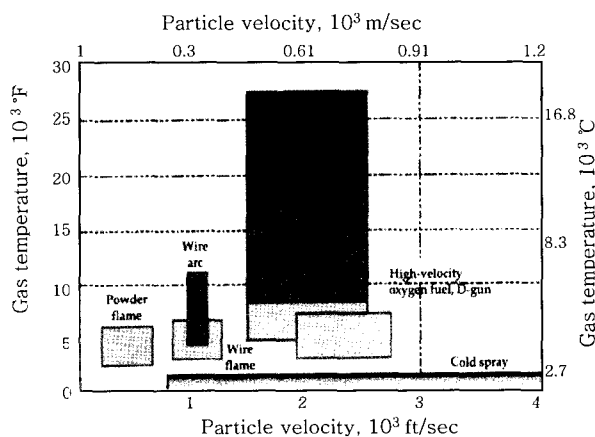


Fig. 1 Temperature and velocity regimes in the spray technology

그 이유는 용융되어 비행하는 입자가 분말을 사용시보다 선재를 사용시 더 미세하기 때문이라 판단되며, 따라서 분말을 사용시보다 선재를 사용시 코팅층에서 더 낮은 기공율과 더 높은 접착력을 보이게 된다.

본 기술강좌에서는 우선 spray된 코팅의 기본적인 구조 및 특성 등에 대하여 논의하고, 다음 2~3회에 걸쳐서 최근에 개발된 cold spray 및 각각의 용사코팅에 대하여 좀 더 자세히 논하기로 한다.

1. 코팅층의 기본 구조 및 특성^{2,3)}

Spray 기술을 통한 코팅층의 특성은 물론 사용되는 코팅 공정에 따라 많이 좌우된다. 그러나, 그 외에 분말을 사용시 분말 조성 뿐만 아니라, 분말의 제조방법, 입도 등에도 코팅층의 특성은 변하게 된다. 또한, 용사 코팅 소재 검토시 유의 사항은 분말을 공기중에서 용융하므로 코팅 전의 원료소재과 코팅된 소재와는 화학적 성분이 다를 수 있으며, 급냉 조건이므로 비정형상인 비정질 (amorphous)상이 존재할 수 있으며, 이것은 세라믹 재료인 경우도 비정질 형성이 가능하다는 점이다.

Fig. 2에서는 전형적인 spray 코팅층의 단면 조직 사진을 보이고 있다. 어떤 spray 공정을 이용하느냐에 따라 정도 차이는 있지만, 기본적으로 기공, lamellar 내부 구조에 따른 이방성, 그리고 용사코팅의 경우 산화 입자 혹은 미용융 입자가 존재하게 된다. 입자 속도에 따라 기공 및 lamellar 구조가 변하고, 온도에 따라서 산화물 및 미용융입자 생성이 좌우된다고 볼수 있다.

Spray 코팅층 특성 분석에서는 우선 조직 관찰을 위한 시편 준비에서부터 주의를 요구한다. 즉, 시편의 절단, 마운팅, 그리고 연마시의 조건에 따라 기공도나 경도 등 조직이 상이하게 나타나게 된다. 특히, 탄화물이 함유되어 있는 복합재는 연마시 탄화물이 이탈되는 사례가 발생하여 기공도는 실제보다 높게 나타나고 경도는 낮게 측정된다. 또한, 연한 재질인 Al이나 Zn인 경

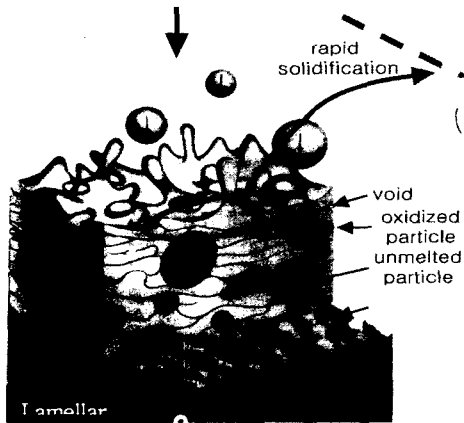


Fig. 2 Typical cross-sectional microstructure of sprayed coating

우는 소위 'smearing' 효과에 의하여 실제보다 낮게 기공도가 측정된다.

코팅층의 경도 측정은 주로 Vickers 경도기를 사용하는데, 코팅층은 측정 위치에 따라서 불균일한 경도값을 얻게 된다. 따라서 경도 측정은 최소한 10번 이상을 측정하여 평균치로 나타내게 된다. 또한, 사용 하중에 따라 경도값은 변하게 되는데, 사용 하중이 증가함에 따라 경도값은 감소하고 측정 에러는 감소하게 된다. 따라서 코팅층 전체에 대한 진정한 경도값을 얻기 위해서는 가능한 무거운 하중 (예, 1kg 이상)을 사용하는 것이 바람직하고, 문헌상의 경도값도 사용 하중을 고려하여 비교하여야 한다.

코팅층 분석에 간과하기 쉬운 점은 각각의 라멜라가 다른 성분을 지닐 수 있다는 점이다. 카바이드 계통의 복합재는 플라즈마 용사코팅시 고온에 의한 카바이드 분해로 인한 특성 저하로 인하여 대부분의 내마모용으로는 고속용사 기법을 사용하여 카바이드의 분해를 최소화하고 기공율을 1% 이하로 제어하여 bulk재와 거의 유사한 우수한 코팅을 얻을 수 있지만, 각각 라멜라간의 성분은 마찬가지로 약간씩 다르게 된다.

탄성계수 (Young's modulus)는 원자간 결합력을 나타내는 상수로서 물질의 고유 특성으로 알려져 있다. 그러나, spray 코팅의 탄성계수는 코팅 특유의 구조특성과 불균일성으로 인하여 bulk재와는 상이하게 측정된다. 또한, 코팅층의 탄성계수 측정시 순수한 탄성변형만을 얻기가 용이하지 않으므로 측정 방법에 따라서 상이한 탄성계수를 얻게 된다. 즉, 라멜라 내의 균일한 부위만을 측정하는 nanoindentation 기법을 사용하면

bulk재와 거의 유사한 값을 얻을 수 있지만, 여러 라멜라를 겹치게 측정하는 microindentation 기법을 사용하면 기공이나 균열, 혹은 라멜라 경계에서 비탄성 변형이 용이하게 일어나서 매우 낮은 값을 얻게 된다. 더구나, 가장 macro한 시험 방법이라 사료되는 인장이나 굽힘시험을 이용하여 기공이 약 10% 정도 항상 존재하게 되는 플라즈마 용사코팅층을 측정하면 화학조성에 상관없이 6-20 GPa 정도의 매우 낮은 값으로 측정된다. Spray 코팅의 구조는 이방성을 지니므로 탄성계수와 같은 기계적 특성 및 열적 특성 또한 이방성을 지니게 된다.

Spray 코팅에서 주요 특성은 코팅시 잔류응력 형성이다. 일반적으로 코팅이 기관에서 응고되어 수축하므로 잔류인장응력이 형성되게 된다. 그러나, 고상공정인 Cold spray나 고속용사코팅에서는 소위 'peening' 효과로 인하여 잔류압축응력이 형성되어 두꺼운 코팅 (50 mm 이상)이 가능하기도 하다. 예외로는 응고시 비정질을 형성하는 경우 부피 변화가 거의 없으므로 아크나 플라즈마 용사코팅시도 잔류압축응력 형성이 가능하기도 하다.

Spray 코팅의 가장 큰 장점은 금속, 세라믹 뿐만 아니라, 고분자, 복합재료 등 거의 모든 소재가 공정에 따라 코팅이 가능하다는 점이다. 반면에 가장 큰 단점으로는 기계적 결합력으로 코팅을 형성하므로 충격 하중이 걸리는 환경에 부적절하고, 코팅 원료 분말의 부착율이 속도가 증대될수록 감소한다는 점이다. 그러나, 이러한 단점은 코팅 후 재용융하거나, cold spray 기술인 경우는 속도가 증대될수록 부착율이 증대하는 경향을 보이게 된다.

참 고 문 헌

1. A. Papyrin : Advanced Mater. & Processes, 159 (2001), 49~51
2. 김형준 : 대한용접학회지, 17 (1999), 45~51
3. 김병문, 황순영 : 대한용접학회지, 20 (2002), 443~450



- 김형준(金亨駿)
- 1960년생
- 포항산업과학연구원
- 용사코팅, 육성용접, 표면개질
- e-mail: khyungj@rist.re.kr