

Kinetic Spraying Technology

이 창 회

한양대학교 신소재공학부

Kinetic 스프레이 공정은 1980년대 중반에 Dr. Anatolii Papyrin 의하여 그 개념이 처음 도입 되었고 1994년에 스프레이 코팅 기술로서 특허가 발효되었다. 그 후 2002 년대에 들어서면서 실험실 단위의 kinetic 스프레이 시스템이 구축되었으며 현재 상용화를 위한 개발이 이루어지고 있다.

Kinetic 스프레이 공정은 일반적으로 5~50um 의 분말이 상온분위기에서 500~2000m/s 의 속도로 모재에 충돌하여 입자와 모재의 용융 없이 적층되는 기술이다. 기존의 flame, arc, plasma spraying처럼 잘 알려진 열 용사 방법과는 다르게 kinetic 스프레이 공정에서는 분말이 모재에 충돌하기 전까지 용융이 전혀 발생하지 않는 공정이다. 이는 kinetic 스프레이 공정에서 분말의 고속 운동에너지가 중요함을 의미하는데, 지금까지의 실험적 결과들은 분말의 적층이 이루어지기 위한 임계속도가 존재하며 임계속도는 분말의 온도와 열기계적 특성에 의존하는 것으로 알려져 있다.

Kinetic 스프레이 공정에서의 입자/모재간의 결합과 입자/입자간의 결합 기구는 아직 명확히 알려져 있지 않았다. 그러나 현재 가장 많이 인용되는 적층 기구는 충돌 시 발생하는 입자와 모재의 소성변형에 의한 제트가 발생하여 입자와 모재 표면의 산화물이나 기타 불순물을 제거하여 입자와 모재가 conformal contact을 형성하게 해주는 것으로 알려져 있다. 이러한 현상을 일으키기 위해서는 충돌시의 운동에너지가 입자와 모재의 충분한 소성변형을 일으키는 일정 속도 이상의 임계 속도를 넘어야 한다. 만약 입자의 속도가 임계속도를 넘지 못할 경우에는 모재에 crater만을 남기고 입자는 모두 bounce-off 된다.

그림 1은 kinetic 스프레이 공정 시스템의 개요를 보여주고 있다. 높은 압력의 가스(Air, Nitrogen, Helium)가 control panel 을 통하여 가스 히터와 분말을 송급하는 라인으로 공급된다. 높은 압력의 가스는 전기 히터를 통하여 30~600℃로 가열되어 de Laval (converging-diverging) 노즐을 지나면서 초음속으로 가속된다. 분말 송급 장치로 공급된 가스는 분말을 노즐로 운반하고 분말은 노즐 내의 초음속 가스 유동장내에서 초음속으로 가속된다.

Kinetic 스프레이 공정은 고속의 입자속도에 의한 운동에너지를 이용한 적층 기술로서 적층을 위한 최고의 속도를 얻는 것이 중요하다. 이를 위하여 다음의 변수를 고려 하여야한다.

<노즐> 스프레이 공정에 사용되는 노즐의 종류는 그 모양에 따라 barrel, convergent-barrel, convergent-divergent, convergent-divergent-barrel 사용되고 있다. 이 중에서 압축가스를 이용하여 아음속의 가스속도를 초음속으로 가속하기 위한 노즐의 형태는 converging-diverging 형태의 de-Laval 노즐을 사용하여야만 한다. 주어진 가스의 온도와 압력 하에서 가스의 속도는 nozzle의 길이가 길수록, 노즐의 throat에 대한 출구의 지름의 비율이 높을수록 빨라진다고 알려져 있다. 그러나 노즐이 길어질수록 노즐내부에 충격파 등 불안정한 기류가 발생할 수 있어 이에 따른 최적화가 필요하다

<가스 종류> 공정 가스는 가벼운 분자량 때문에 질소, 헬륨과 같은 가스가 사용되며 헬륨이 질소 보다 분자량과 비열이 낮아 동일한 온도에서 질소보다 속도가 빠르다. 그러나 헬륨은 보다 낮은 온도에서 질소보다 빠른 속도를 낼 수 있는 장점이 있으나 경제적 측면에서 비용이 많이 들기 때문에 헬륨을 주 공정 가스로 사용하기 위해서는 헬륨 리사이클 공정이 필요하다.

<스프레이 거리> Flame이나 plasma로부터 모재로의 열 유입이 존재하는 열 용사 방법과 달리 kinetic 스프레이 공정은 가까운 거리에서 스프레이가 가능하다. 노즐로부터의 거리에 따른 입자 속도의 변화와 모재와의 충격파에 의한 속도 변화를 감안할 때, 최적의 공정 거리는 2~4cm로 알려져 있다.

Kinetic 스프레이 공정은 일반적으로 높은 열원을 사용하지 않으므로 열 용사 공정에 비하여 다음과 같은 여러 장점이 있다.

1. 코팅층으로의 열전달 양이 적어 모재의 미세구조 변화가 거의 없다.
2. 비행 중 산화나 다른 화학적 반응이 생기지 않아 thermally, oxygen-sensitive 물질의 적층이 가능하다.
3. 일반적 열 용사에서 가능하지 않은 nano phase, intermetallic, amorphous 물질의 코팅이 가능하다.
4. 코팅층과 모재에서의 grain growth, embrittle phase 의 형성이 없다.
5. 적층과정 중 macro/micro segregation이 발생하지 않는다.
6. 열 용사의 tensile residual stress와 반대로 pinning effect에 의한 compressive residual stress 발생하여 stress에 의한 코팅층의 박리를 억제한다.
7. 낮은 온도에서 공정이 이루어지므로 안전하며, 입자의 증발에 의하여 발생하는 유독가스등의 환경 파괴적 물질이 발생하지 않는다.
8. 공정거리가 가까우므로 내경 코팅 등 정밀 부품의 코팅에 용이하다.
9. Cu-W 과 같이 서로 고용도가 없는 물질의 composite 제조가 가능하다.
10. 초음속 충돌에 의한 강력한 소성변화에 의해 기공률이 작고 집합강도가 우수하다.

Kinetic 스프레이 공정은 열 용사에 비하여 위와 같은 장점이 있기는 하나, 분말 및 모재의 선택에 있어 세라믹과 같은 brittle 한 물질을 사용할 때 제한적이어서 기존의 열 용사 기술을 완전히 대체할 기술이라 말할 수는 없다. 하지만 기존의 열 용사가 지니고 있던 대부분의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 코팅 기술임은 확실하다. 앞으로 일부 합금과 세라믹을 제외한 다양한 소재에 대하여 kinetic 스프레이 공정이 지닌 장점으로 인하여 그 적용이 매우 확대될 것으로 예상된다.

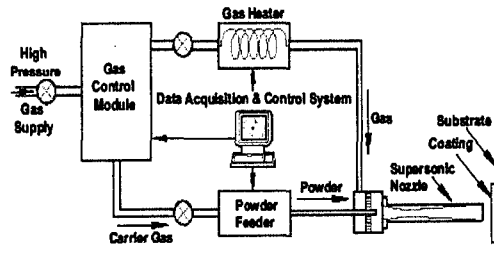


그림 1 kinetic 스프레이 공정 개요도

김도향 (金道鄉)
연세대학교 신소재공학부

1980년 서울대학교 금속공학과 학사

1982년 서울대학교 금속공학과 석사

1989년 Oxford대학교 재료공학과 박사

1983~86년 한국과학기술연구원 재료연구부 연구원

1990~92년 한국과학기술연구원 재료연구부 선임연구원

1992~95년 포항공과대학교 재료·금속공학과 조교수

1995~현재 연세대학교 신소재공학부 부교수, 교수

1998~현재 준결정재료연구단 단장