

Kinetic Spraying 기술

- Coating Mechanism -

이창희

Kinetic Spraying Technology

- Coating Mechanism -

Chang-Hee Lee

입자가 모재에 충돌할 때 입자의 속도에 따라 다음의 세 가지 현상이 발생한다. 입자의 속도가 느린 경우에 입자는 모재에서 bounce-off 되고 입자의 속도가 중간일 때는 모재에 erosion 현상이 발생한다. 입자의 속도가 critical 값(입자와 모재의 종류에 따라 변화하며 일반적으로 500-900 m/s의 범위로 이를 critical velocity라 부른다.)을 넘어서게 되면 입자는 소성변형을 일으키고 입자/모재, 입자/입자간의 결합이 발생한다. 다시 말해서 kinetic 스프레이의 적층의 기본원리는 입자/모재의 소성 변형이다. kinetic 스프레이는 입자와 모재의 소성변형을 통하여 적층이 이루어지므로 입자와 모재의 강도가 입자의 적층에 영향을 많이 미치며 일반적으로 강도가 높을수록 코팅이 힘들며 높은 비행속도를 필요로 한다. <그림 1>

새로운 코팅 기술로서 kinetic spraying의 특징은 고속 충돌속도와 낮은 입자 온도이다. 그러나 아직 고속 입자/모재 충돌에 관한 명확한 spraying mechanism은 밝혀 지지 않았다.

Spraying mechanism은 입자가 적층이 될 때 발생하는 현상학적인 측면인 적층 기구와 실제 적층이 이루어

어질 때 입자/모재 입자/입자간의 결합을 이끄는 결합 기구 두 가지로 나누어서 생각 할 수 있다.

1. 결합기구

Kinetic spray 적층 과정에서 충돌시에 발생하는 에너지는 adhesion 에너지와 rebound energy로 나누어 생각할 수 있다. 이 두 에너지 중 adhesion energy가 큰 경우는 적층이 이루어지고 반대로 rebound energy가 큰 경우에는 bounce-off가 일어난다.

1.1 adhesion energy

atomic diffusion : 초음속 gas와 입자의 고속 충돌에 의한 운동에너지의 열에너지로의 전환과 입자의 소성변형에 의한 열에너지 발생은 입자/모재, 입자/입자 사이의 계면에서의 온도를 상승시키며 때에 따라 용융점 까지 상승하기도 한다. 이로 인하여 원자의 확산이 일어날 수 있으나 고속 충돌에 의한 충돌시간이 수십 ns 로 매우 짧아 원자의 확산이 일어나는 거리는 0.1 μ m 아래로 알려져 있으나, 일부 실험 결과들은 원자의 확산이 상당히 발생했다고 보고되고 있다.

surface adhesion : 소성변형을 통하여 발생한 jet에 의하여 표면의 불순물이 제거된 후 입자/모재의 입자/입자간에 발생하는 원자간의 Van der Waals force와 전기적, 화학적 원자간의 결합으로 아직 규명하는데 어려움이 있다.

interlock 현상 : 고속 충돌에 의해 계면에서 발생하는 adiabatic heating에 의하여 계면에서의 flow stress가 매우 증가하며 viscous flow가 발생할 때 두 물체간의 roll-up 또는 vortices가 micro-/nano-interlock을 형성한다. <그림 2>

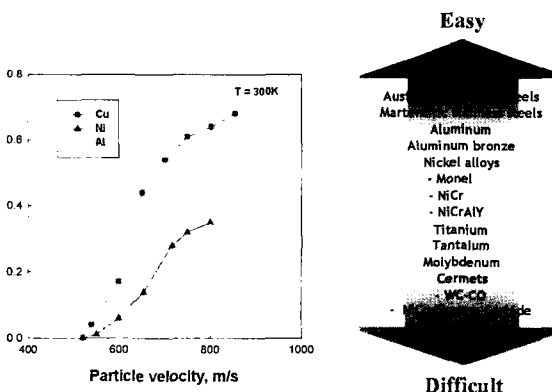


그림 1 입자 모재에 따른 critical velocity

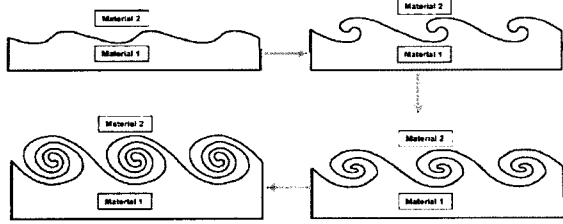


그림 2 계면에서의 interlock 형성 과정

1.2 rebound energy

Kinetic 스프레이동안 입자와 모재에서는 소성변형과 탄성변형이 존재한다. 충돌 과정은 loading에 의해 발생하는 소성, 탄성 변형과 탄성복원에 의한 unloading 과정으로 나누어진다. 충돌시 발생하는 light, sound, fracture, residual stress등의 에너지 손실을 무시할 때 초기 입자가 충돌하여 소성변형으로 에너지를 소모하고 남은 여분의 에너지는 탄성 영역 구간에 저장되어 unloading과정 중 탄성 복원하여 결합을 방해하는 역할을 한다. <그림 3>

2. 적층 기구

Kinetic 스프레이에서 적층은 충돌시 발생하는 입자와 모재의 소성변형에 의하여 jet 가 발생하여 입자와 모재 표면의 산화물이나 기타 불순물을 제거하여 입자와 모재가 conformal contact을 형성하여 적층이 발생한다. 이때 발생하는 계면에서의 현상중의 하나로

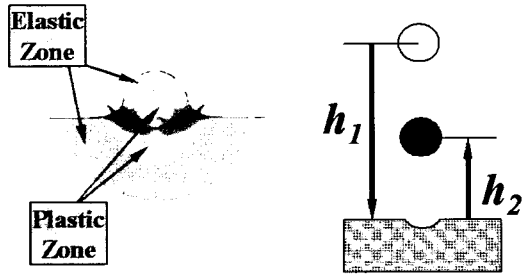


그림 3 Plastic zone 형성에 따른 탄성 복원에 의한 bounce-off

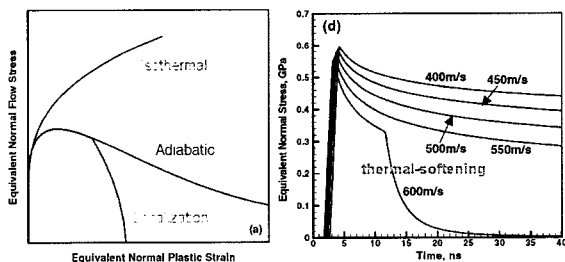


그림 4 일반 strain hardening 물질과 adiabatically softening 물질의 stress-strain 곡선

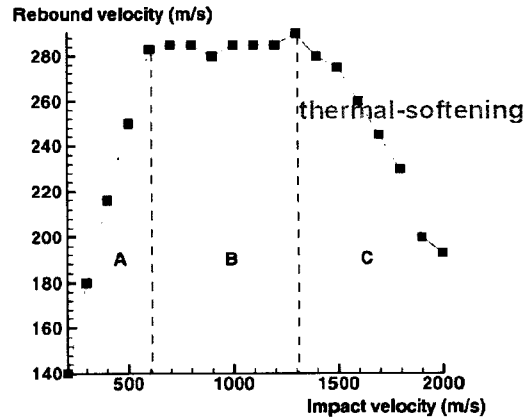


그림 5 충돌 속도에 따른 bounce-off 되는 입자의 속도 변화

2002년까지는 계면에서의 용융이 발생 하는가 발생하지 않는가와 만약 계면에 용융이 발생한다면 적층에 어떠한 영향을 주는가가 관심의 대상이었다. 2004년에 들어서면서 부터는 kinetic 스프레이 공정의 발생하는 짧은 충돌시간동안의 high-strain rate에서의 소성변형 동안 열에너지로의 전환을 adiabatic 과정으로 설명하며 기존의 strain-stress 동안 발생하는 work-hardening현상대신 adiabatic 과정중 thermal-softening 과정을 겪는다고 설명 되어지고 있다. 이러한 계면에서의 adiabatic heating은 계면에서의 용융이 발생하든 발생하지 않는 입자의 적층을 설명하는데 있어 유용하다.<그림 4>

입자의 속도가 빨라질수록 입자/모재, 입자/입자간의 접촉 시간은 짧아지며 소성변형에 의한 열에너지 발생이 많아져 임계속도 이상에서 계면에서의 온도가 급속히 증가하고 flow stress가 급속히 감소하여 atomic diffusion과 surface adhesion 에너지를 높이며 viscous flow가 발생하며 interlock등을 형성할 수 있어 결합력을 높이며 thermal softening에 의한 rebound 에너지의 감소를 가져와 적층을 유도하는 것으로 알려지고 있다. <그림 5>

Simulation 결과는 adiabatic shear instability와 thermal softening 현상이 발생하는 입자의 속도는 기존의 알려져 있는 critical velocity와 유사한 값을 가지며 현재는 현재 가장 kinetic spray 공정의 적층 기구를 잘 설명하는 이론으로 받아들여지고 있다.



- 이창희(李昌禧)
- 1956년생
- 한양대학교 신소재공학부
- 표면개질 및 용접
- e-mail : chlee@hanyang.ac.kr