

플라즈마 용사된 Y_2O_3 부분안정화 지르코니아 단열코팅의
미세조직 및 기공도에 미치는 용사조건의 영향
(Effects of Spraying Condition on the Microstructure and Porosity of Plasma
Sprayed Y_2O_3 Stabilized Zirconia Thermal Barrier Coatings)

한 명 섭*, 김 대 영
현대중공업(주) 산업기술연구소

1. 서론

최근에 산업기술의 급격한 발달과 함께 재료의 사용환경이 열악해짐에 따라 점차 기존 금속 재료의 사용한계에 다다르고 있다. 이와같은 재료의 한계성을 극복하고 가스터빈, 디젤엔진 등의 열기관 효율 및 내구성을 증가시키기 위해서는 초내열합금의 개발 및 적절한 냉각 시스템의 개발과 함께 기지재의 표면에 보호피막을 형성시키는 단열코팅(Thermal Barrier Coating: TBC)의 개발이 매우 중요하다.

단열코팅은 금속재료의 표면에 고온 내산화성 및 내식성이 우수한 내열합금을 용사한 bond coating층과 열전도도가 낮은 세라믹을 용사하여 top coating층으로 구성되어 엔진의 산화, 부식 등에 의한 재료손실의 심각한 문제를 완화시킬 뿐만 아니라, 냉각 시스템의 제거와 작동온도를 상승시킬 수 있으므로 열효율을 증대시킬 수 있다.

본 연구에서는 플라즈마 용사법을 이용하여 bond coating층과 Y_2O_3 부분안정화 ZrO_2 산화물 층으로 형성된 내산화성, 내부식성, 단열성이 우수한 단열코팅의 제조기술 개발을 위한 기초연구로써 용사변수에 따른 단열코팅층 내부의 물성을 조사하여 단열피복 제조 및 공정기술을 확립하고자 하였다.

2. 실험 방법

용사변수에 따른 단열코팅의 ceramic coating층에 대한 적정용사조건을 선정하기 위한 기초 연구의 일환으로서 기지재를 mild steel봉으로 선택하여 디스크 형태로 가공하고 기지재 표면을 산세 및 탈지작업을 행한 후, 알루미늄 grit를 사용하여 blasting처리를 하였으며, 제차 탈지·세척하여 최대용량이 80kW인 METCO 9MB 용사장비를 사용하여 0.15mm 두께로 MCrAlY bond coating을 용사하고 $ZrO_2-8wt\% Y_2O_3$ ceramic coating을 용사거리, arc전류, 가스유량의 변화시켜 0.3mm 두께로 균일하게 용사하였다.

단열피복층의 splat 형태, 기공분포, 미세균열, 계면의 접합상태 등을 관찰하기 위해 주사전자현미경(SEM)과 화상분석(image analyzer)을 이용하여 하였다.

3. 연구결과 및 고찰

용사층의 미세구조(splat의 형태, 분말의 melting 상태, 미세균열의 분포, 기공의 크기와 분포, 용사층의 두께, 용사층 계면의 접합상태, 용사층과 모재와의 접합 상태 등)는 thermal barrier coating의 기계적 성질 및 내구성에 영향을 주기 때문에 매우 중요하다.

Fig 1은 용사거리 변화에 따른 $ZrO_2-8wt\% Y_2O_3$ ceramic coating층의 미세조직 사진으로 용사거리가 짧은 60mm인 경우에는 접합상태가 불량하며, ceramic coating 분말이 플라즈마 화염에 의해 충분히 가열되지 않아 불완전한 melting상태로 접착하여 splat사이의 접착상태가 불균일하여 조대한 기공이 분포되어 있다. 반면에 80mm인 경우에 화염에 의한 충분한 melting이 이루어져 균일한 구형기공이 분포되어 있다. 또 100mm, 120mm으로 용사거리가 증가함에 따라 조대기공과 함께 macrocrack이 증가하는데, 이는 부분 용해된 입자수의 증가와 용사시 입자의 온도저하에 따른 splat사이의 불완전한 접착으로 말미암아 조대기공과 더불어 macrocrack이 증가된 것이다.

Fig 2는 용사거리 변화에 따른 $ZrO_3(8wt\% Y_2O_3)$ ceramic coating층의 단면으로 부터 구한 기공도 변화를 나타낸 것으로 용사거리가 80mm인 경우에 최소기공도를 나타내었으며, 용사거리가 짧아지거나 증가할수록 기공도가 증가하여 120mm에서 20.6%의 최대 기공도를 나타내고 있다.

Fig 3은 플라즈마 arc전류 변화에 따른 기공도 변화를 나타낸 것으로 arc전류가 500A인 경우에는 전체적으로 power가 낮기 때문에 partial melted particle이나 unmelted particle이 생성되어 불균일한 기공을 형성하여 높은 기공도를 보였으며, arc전류를 증가시킬수록 용사분말이 완전한 melting상태로 splat를 형성하기 때문에 접착상태가 양호하며 기공도가 감소하였다. 그러나 arc전류가 너무 높을 경우에 높은 열원의 영향으로 모재의 과열현상이 초래되어 접합상태가 좋지 못하고, 적당한 용사출력때 보다 기공도는 감소하지만 용사시 미소 용사분말의 증발에 의한 손실로 인하여 용사효율이 감소하여 동일 pass에 의해 형성된 코팅층의 두께가 감소하는 경향이 있다.

4. 결론

용사거리가 너무 짧으면 coating층의 온도 상승과 함께 냉각시 과대한 열응력으로 인하여 비교적 큰 macrocrack이 생성되어 상대적으로 기공도가 증가하며, 용사거리가 너무 길 경우에는 부분용해 입자수의 증가와 분사입자의 온도저하에 따른 splat사이의 불완전한 접착으로 조대기공과 더불어 큰 macrocrack이 증가된다.

또한 플라즈마 arc전류를 증가함에 따라 기공도는 감소하는 경향을 나타내었으며, 너무 높은 arc전류를 사용하는 경우에는 고온의 열원에 의해 미세한 용사분말의 증발로 인해 코팅층의 용사효율이 감소한다.

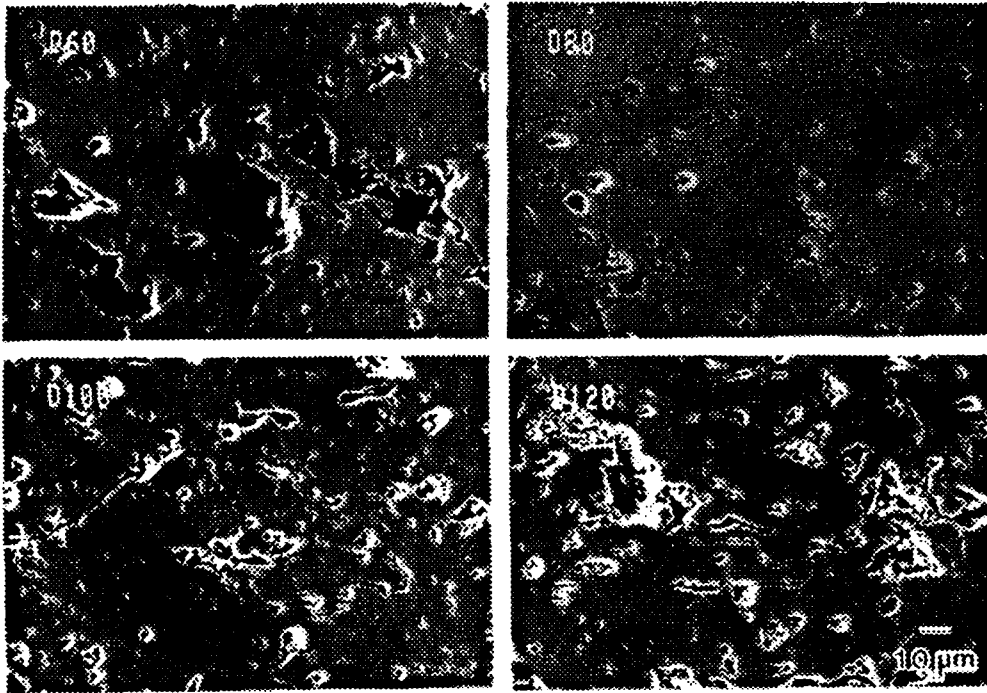


Fig 1 SEM micrographs of the as-sprayed ceramic coating with spraying distance

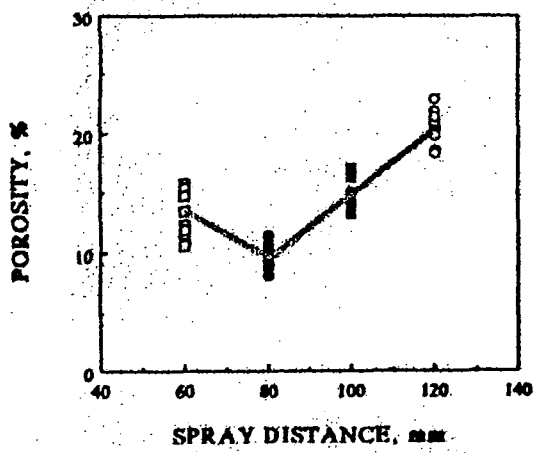


Fig 2 Variation of porosity with spraying distance

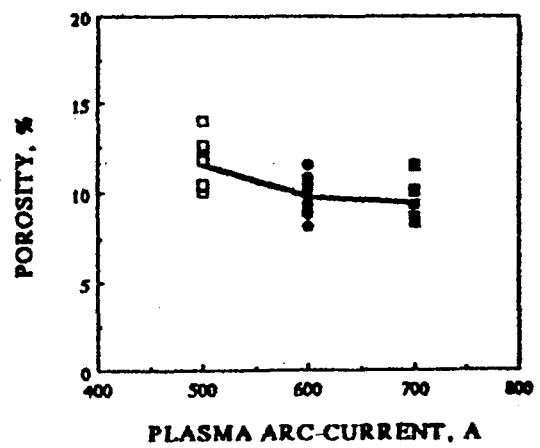


Fig 3 Variation of porosity with plasma arc-current