

# 일렉트로 스파크 방법에 의한 구상흑연주철의 육성에 관한 연구 A Study on Overlay Technology of Ductile Casting Iron by Electro-Spark method

\*엄기원, 이선호

두산중공업(주) 기술연구원 소재/용접기술연구팀

## 1. 서론

현재 국내외에는 발전용 가스터빈, 항공기용 가스터빈, 정유공장의 폐 가스를 이용한 가스터빈의 건설이 환경적인 측면(청정에너지 사용), 에너지 효율 등에 의한 문제로 지속적으로 증가하고 있으며, 가스터빈의 경우 Casing 소재로 탄소의 함량이 3% 이상인 구상흑연주철(Ferritic Ductile Iron, ASTM A395)을 주로 사용한다. 이때, 주조결함이 가공중에 나타나거나 가공시의 간단한 결함이 발생하더라도 탄소함량으로 인해 용접 및 부분 브레이징에 의한 보수가 거의 불가능하며, ASTM A395 규정에도 용접, 브레이징에 의한 보수는 허용되지 않고 있다.

가공과정에서 발생하는 결함에 대한 대책은 plugging, patch ring, blending 과 같은 방법을 이용하여 제한적으로 행해지고 있으나, 비용이나 보수시간측면에서 손실이 크며, 또한 폐기될 경우에도 추가제작 비용과 수송비용 등 경제적으로 많은 손실을 입게 된다. 따라서, 본 연구에서는 주조 및 가공 결함의 보수에 사용할 장비로 용접이나 브레이징 방법이 아닌 즉, 열영향부를 생성시키지 않는 육성 방법인 Electro-Spark Deposition 방법을 이용하고자 한다. Electro-Spark Deposition 장비는 Micro-Pulse 를 이용하여 전기적 스파크를 발생시켜 순간적으로 용접봉을 용융시키는 방법이므로 모재에 잔류응력 및 열영향부를 형성시키지 않아 모재의 기계적, 화학적 특성에 거의 영향을 끼치지 않을 것으로 판단하였다. 또한, 가스터빈 Casing 류 이외에 모든 치수결함에 대해서도 보수가 가능하며, 부분적으로 내부식, 내마모를 요하는 부품의 코팅에도 적용할 수 있는 장비이다.

따라서 본 연구에서는 구상흑연주철 소재를 Electro-Spark Deposition 장비를 사용하여 육성할 경우의 특성을 평가하였으며, 용접을 사용할 때와 비교평가 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 Electro-Spark Deposition 원리

Electro-Spark Deposition 법은 합금이나 금속간 화합물로 만들어진 소모성 용접봉을 사용하며, 40-400Hz 의 마이크로 펄스의 전기적 스파크에 의해 용융 육성된다. 직류 전원은 접하는 영역에서 8,000 에서 25,000 도로 용접봉을 가열하고, 이온화된 상태에서 시편에 용접봉의 미소량을 전달하여 강한 금속 화합물을 형성한다.

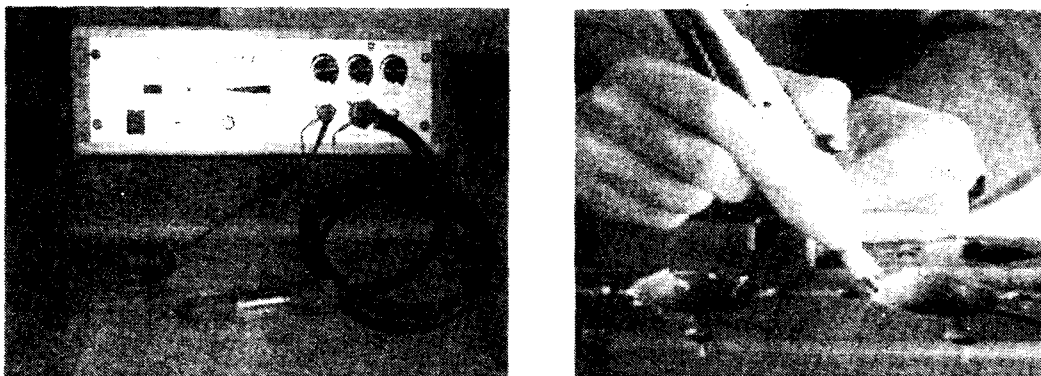


Photo.1 The photograph of Electro-spark deposition equipment and on-site repair

### 2.2 실험 조건

본 실험은 열영향부의 형성여부와 잔류응력 및 인장강도의 차이를 관찰하기 위하여 Tig 용접과 Electro-spark deposition 방법을 비교 실험하였으며, Electro-spark deposition 실험은 전극봉을 모재인 구상흑연주철과 구상흑연주철 보수용접에 사용되는 Inconel 718 을 동시에 실험하여 그 특성을 비교 평가 하였다.

Table 1. Experimental conditions

	Electro-spark deposition	TIG welding
전극봉(용접봉)	Inconel 718 (2.4φ)	Inconel 718 (2.4φ)
	구상흑연주철(2.4φ)	
Hole 크기	9(φ) x 4(d)mm	
주파수	350 – 400Hz	
출력	6 – 6.5 단계	
전극봉 속도	5.5 – 6 단계	
육성 시간	3 시간	

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 육성부 및 경계부 조직 관찰

Inconel 718 전극봉을 사용하여 ESD 육성한 결과 사진 2에서 보여지듯이 조직이 치밀하고 경계부에서도 균열이 나타나지 않음을 알 수 있으며, 모재의 조직 형태가 변하는 열영향부가 생성되지 않음을 관찰 할 수 있다.

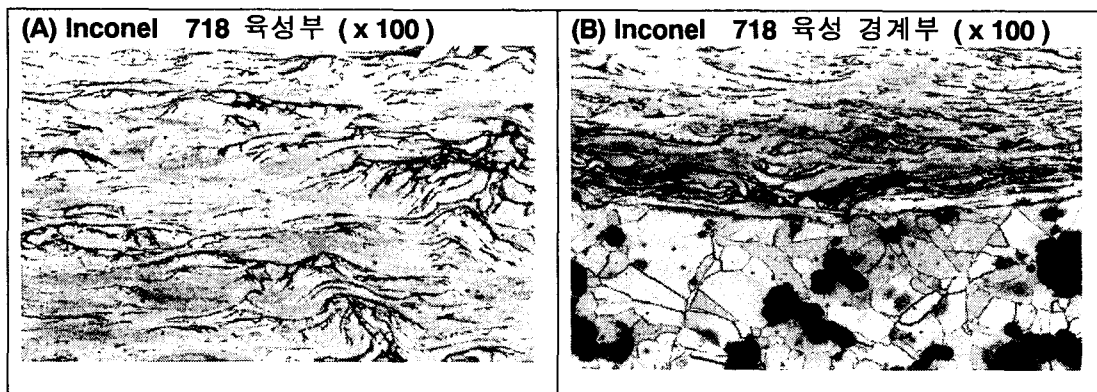


Photo 2. The microstructure of Inconel 718 overlay and boundary between substrate(ferritic ductile iron) and overlay

#### 3.2 미소경도 및 인장시험 분석 결과

Micro-vickers 경도기를 이용하여 모재와 육성층 및 용접층의 경도를 비교 분석하였다. Inconel718 모재와 Inconel718 육성 및 용접후의 경도를 비교한 결과, Electro-spark deposition 육성의 경우에는 모재(Hv 400)보다 약간 높은 경도치(Hv 423)를 나타냄을 알 수 있고, 반면 TIG 용접의 경우는 모재 경도치의 약 60% 정도 밖에 안되는 경도치(Hv 237)를 나타냄을 알 수 있다. 또한 육성 전후의 모재부 경도를 비교해 보면 Hv 160 에서 Hv 156 으로 경도 변화가 거의 없는 반면, 용접의 경우 Hv 160 에서 Hv 145 로 약간 감소함을 알 수 있다.

Table 2. The comparison of micro-hardness

(Hv , applied loads=5kgf)

재 질	모 재		Electro-spark deposition 육성 후		TIG 용접 후
	구상흑연주철 모재	In718 합금 모재	구상흑연주철/ 구상흑연주철	구상흑연주철/ In718 합금	구상흑연주철/ In718 합금
모재부 경도	160		152	156	145
경계부 경도	160	400	264	245	277
육성부 경도	160	400	370	423	237

표 2 는 Electro-spark deposition 육성과 TIG 용접시편의 인장시험 결과이다. Inconel 718 육성 시편이 TIG 용접시편의 인장강도에 약 54%정도 이며, 모재(구상흑연주철)에 비해서는 약 45% 정도를 보였다. 그러나 본 Electro-spark deposition 공정은 TIG 용접과 같이 고온에 의한 많은 양의 용착으로 두 금속을 용융 접합시키는데 이용하는 것이 아니고, 완제품의 미세 결함보수가 목적이므로 약 20.3 kgf/mm<sup>2</sup> 정도의 인장강도로도 결함보수에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

Table 3. The comparison of tensile test for Electro-spark deposition and TIG welding specimens

시편 종류		시험 온도(°C)	인장강도 T.S (kgf/mm <sup>2</sup> )
구상흑연주철 모재		21	45.1(MIN 42)
Inconel 718 모재			138.8
ELECTRO- SPARK DEPOSITION	Inconel 718		20.3
	구상흑연주철		17.7
TIG 용접	Inconel 718		37.9

### 3.3 잔류응력 분석 결과

표 3 에서 보는 바와 같이 Electro-spark deposition 에 의한 육성이나 TIG 용접 시편 모두 Stress Intensity 가 적어 항복은 발생하지 않는다고 볼 수 있다. 그러나 육성과 용접을 비교해 보면 용접 시편이 약 7 배 정도 많은 Stress Intensity 값을 갖는 것을 알 수 있으며, 이는 용접시편이 육성 시편보다 약 7 배정도 많은 잔류응력을 가진다는 것을 의미한다.

Table 4. The comparison of residual stress and stress states

위 치	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\sigma_{min}$ (Mpa)	SI= $\sigma_{max} - \sigma_{min}$ (Mpa)	항복응력대비 SI	항복응력값 (Mpa)
육성 부위	25	12	13	1.1 %	1160
용접 부위	28	-62	90	7.6 %	1160
모재 부위	18	6	12	3 %	400

### 4. 결론

구상흑연주철재인 가스터빈 케이싱의 결함보수를 위하여 모재에 열영향을 주지 않는 육성 보수 방법인 Electro-spark Deposition 방법을 이용하여 실험한 결과, 육성부의 경도가 Hv 423 으로 모재 경도와 차이가 없음을 알 수 있었으며, 육성부의 낮은 잔류응력 분포와 주위 모재부에 열영향을 끼치지 않고 20.3 kgf/mm<sup>2</sup> 정도의 인장접착강도를 가짐을 알 수 있었다. 이러한 결과를 종합하여 판단하면 Electro-spark Deposition 방법은 구상흑연주철재인 가스터빈 케이싱의 결함보수에 적합하다고 판단된다.