

글로우 플러그용 Si_3N_4 팁의 개발 (The development of Si_3N_4 tips for glow-plug)

기아자동차 이용성*, 김관희, 조원석
한국화학연구소 최영민, 이재도

1. 서론

현재의 간접분사식 디젤엔진은 흡입된 공기가 와류실내에서 강한 와류로 변환되면서 공기/연료 혼합가스를 생성하고 압축열로 인하여 자발착화가 이루어진다. 그러나 저온시동시에는 흡입되는 공기와 실린더벽의 온도가 낮아 연료착화가 어렵게 된다. 따라서 저온에서는 디젤엔진의 시동성 향상을 보조하는 장치가 필요하며 글로우 플러그가 이러한 역할을 하게 된다. 그러나 종래의 글로우 플러그는 발열성능에 한계가 있기 때문에 새로운 소재를 이용한 글로우 플러그의 개발에 관심이 모아지고 있으며, 그 중 내열성과 내부식성이 우수하며 빠른 승온 특성을 나타내는 세라믹 글로우 플러그에 대한 연구개발이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 글로우 플러그의 발열재료로 텅스텐 합금선을 사용하여, 이를 비산화물계 세라믹스인 질화규소(Si_3N_4)에 매립한 후 소결하여 발열 팁을 제작하였다. 제작된 팁은 발열내구시험을 실시하였고 그 결과를 보고하였다.

2. 실험방법

2.1 Si_3N_4 팁 제작

발열 팁에 사용한 세라믹스는 고온강도 및 내산화성이 우수한 Si_3N_4 에 4wt% Y_2O_3 , 3wt% Al_2O_3 를 첨가한 계였다. 발열코일은 Re이 15% 함유된 $\phi 0.2$ 의 텅스텐 합금선을 사용하였다.

열간가압소결은 위치잡기용 틀을 이용하여 예비성형한 질화규소 성형체의 중앙에 발열코일을 위치시킨 다음 질화규소 분말을 덮은 후, 1700°C에서 4000psi의 압력으로 10분간 질소분위기에서 실시하였다.

소결된 판상체는 X-ray 투시 촬영을 실시하였고 이 사진을 기준으로하여 발열코일이 중앙에 위치하도록 정사각기둥으로 절단한 후, 재차 X-ray 투시 촬영을 통하여 도입선이 외부로 노출되도록 다이아몬드 휠 #400, #800의 순서로 원통연마하여 최종 발열 팁을 제조하였다.

2.2 시험

발열코일과 도입선의 접합상태, 파단면 및 표면가공상태 등의 미세구조관찰에는 SEM(S-2150, Hitachi)을 이용하였으며 정량분석에는 EPMA(SX-5000, CAMECA)를, 열분석에는 TG&DTA(STA1500, Thermal science)를 이용하였다. 제작된 발열 팁의 발열내구시험은 5-8V 범위의 전압을 3분간 인가하여 발열 팁의 온도를 각각 1000°C와 1250°C 및 1450°C를 유지시키고 3분간 공냉하는 ON/OFF cycle을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Si_3N_4 팁 제작결과

열간가압된 Si_3N_4 에 매립된 발열코일은 형상 및 치수가 거의 변화가 없음을 알 수 있었다. 열간가압된 Si_3N_4 는 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 의 특징적인 형태인 주상모양이 잘 발달되어 있으며, Si_3N_4 의 인성과 강도를 증가시키는 원인으로 알려진 삼차원적 엇물린 미세구조를 가지고 있음을 알 수 있었다. 그림 3.1.1은 가공된 최종 팁 및 발열코일을 나타낸 것이다. 최종가공된 팁은 가압방향으로는 발열코일과 도입선의 접합상태가 양호하나, 가압방향과 수직인 방향으로 접합상태

가 불량하였다. 그러나 가압방향에서의 접합만으로도 통전은 충분하였다. 또한 도입선이 가압방향으로 변형(aspect ratio 1:1.04)되어 있었으며, 가압방향의 발열코일과 Si_3N_4 의 경계는 치밀하게 소결되어있으나, 가압방향에 수직방향으로는 치밀한 소결이 이루어지지 못하였음을 알 수 있었다.

3.2 내구시험 결과

발열팁의 표면온도가 1000℃일 경우 5880 cycle 후 파괴가 일어났다. 파괴면을 관찰한 결과 발열코일과 도입선의 경계부에서 표면으로부터 파괴가 유도되었음을 알 수 있었다. 이는 경계부의 표면이 열응력이 가장 크게 작용하는 부위이고 또한 가공과정중에 팁 표면 전체에 생성되는 결함이 응력에 가장 취약하기 때문에 표면으로부터 균열이 성장하기 시작하고 결국은 파괴가 일어난다고 생각된다. 또한 표면온도가 1250℃ 및 1450℃인 경우 각각 770 및 100 cycle 후 발열코일이 단선되는 현상을 나타내었다. 표면온도가 1450℃이었던 팁의 경우 표면에 약 100μm 정도의 Si-O 산화피막이 형성되어 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 발열코일 주위는 훼손되어 비교적 큰 공극이 존재하였는데, 이는 팁의 표면이 1450℃일 경우 텅스텐 발열코일 주위는 대략 1600℃ 이상의 온도가 되어 Si_3N_4 입계에 존재하던 저융점 상이 용융되어 생성된 것으로 생각된다.

4. 결론

Si_3N_4 에 4wt% Y_2O_3 , 3wt% Al_2O_3 를 첨가한 계의 분말을 사용하여 글로우 플라즈마용 발열 팁을 제작한 후, 미세구조 관찰 및 발열특성을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열간가압소결된 Si_3N_4 는 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 의 주상 입자가 잘 발달된 3차원적 엇물림구조를 나타내었다.
- 2) 발열코일과 Si_3N_4 의 경계면은 가압방향으로는 치밀한 소결이 이루어졌으나, 가압방향의 수직방향으로는 치밀한 소결이 이루어지지 못하였다.
- 3) 발열코일과 도입선의 경계면은 가압방향으로 접합이 양호하여 통전성이 충분하였다.
- 4) 발열 내구시험을 실시한 결과 1000℃에서 5880회 후에 파괴가 일어났으며 발열온도가 높아질수록 내구수명이 감소함을 알 수 있었다. 파괴양상은 열응력이 가장 크게 작용하는 발열코일과 도입선 경계부위의 표면으로부터 균열이 진전되어 파괴를 유도하였으며, 1450℃에서는 Si_3N_4 소재의 일부가 용융되고 발열코일이 단선되는 현상을 나타내었다.

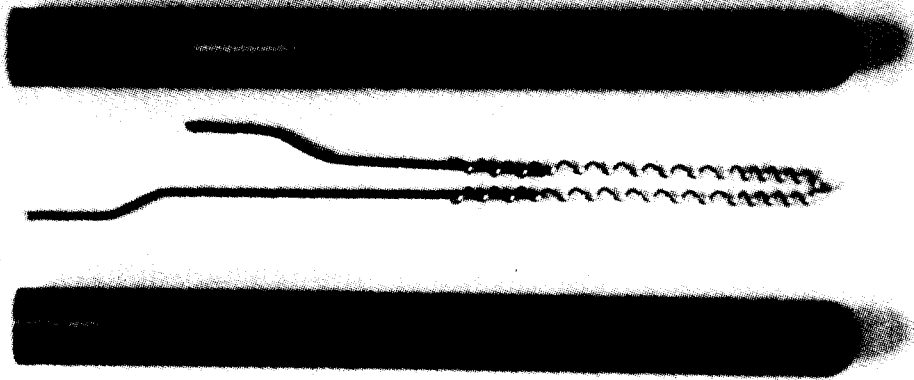


Fig. 3.1.1 The heating coil and machined Si_3N_4 tips.