

## GTA용접용 텅스텐 전극팁의 형상과 연마 상태가 아크특성에 미치는 영향

조상명\*·서상균\*\*

\* 부경대학교 재료공학부 생산가공공학전공

\*\* 유니렘 주식회사 기술개발팀

### The Effect of Configuration and Surface Polishing in Tungsten Electrode Tip for Gas Tungsten Arc Welding on the Arc Characteristics

Sang-Myung Cho\* and Sang-Goun Seo\*\*

\* Course of Production & Joining Engineering, Div. of Materials Science & Engineering Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

\*\* UNILAM Co.,Ltd. Technology & Development Team, Ulsan 689-810, Korea

#### Abstract

The welding quality by Gas Tungsten Arc Welding shows very high level, but the welding speed is lower than that of gas metal arc welding. Also, the welding quality by automatic GTAW is variable as the arc characteristics is changed by the consumption of electrode tip.

The purpose of this study is to investigate the relation between the properties of tungsten electrode tip and the various arc characteristics at high current region.

In this study, the high welding current 200A was applied to the repeated arc start test and long term arcing test using the  $\phi 3.2$  tungsten electrodes with cone angle  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  sharp tip, and  $60^\circ$  surface polished(S.P.) sharp tip.

It was confirmed that the maximum arc pressure by the initial electrode condition was highest in  $45^\circ$  sharp tip, and the next was in  $60^\circ$  sharp tip, the last was in  $30^\circ$  sharp tip and  $60^\circ$  S.P.. But, the maximum arc pressure after the repeated arc start test and long term arcing test was decreased considerably. But, the maximum arc pressure was highest also in  $45^\circ$  sharp tip after the tests, the next was in  $30^\circ$  sharp tip, and the last was in  $60^\circ$  sharp tip and  $60^\circ$  S.P.. The arc start characteristics was the most excellent in  $60^\circ$  S.P.. By long term arcing test, the lanthania included in tungsten electrode was extinguished at tip surface preferentially, therefore the arc characteristics of electrode tip got worse.

(Received March 13, 2000)

Key Words : Gas tungsten arc welding(GTAW), Tungsten electrode, Lanthania, Arc pressure, Arc start test, Long term arcing test, Electrode consumption.

#### 1. 서 론

가스 텅스텐 아크용접(gas tungsten arc welding, 이하 GTAW)은 박판에 대한 저전류 용접성이 우수하

고, 모든 용접자세에 적용할 수 있으며 산화나 질화 등에 민감한 재료의 용접에도 우수한 성능을 나타낸다. 특히 최근에는 로봇용접이나 자동용접에도 GTAW를 적용하는 추세가 급증하고 있지만, 이 경우에는 크게 두 가지의 문제점을 안고 있다<sup>1)</sup>.

첫 번째 문제점은 대전류로 고속용접을 실시하면 언더컷이나 험핑비드(humping bead)가 생겨서 가스 메탈 아크 용접(gas metal arc welding)에 비하여 생산성이 현저하게 낮다고 하는 것이다<sup>1,2)</sup>. 이러한 험핑비드 문제는 용융지에 미치는 아크압력 또는 아크력과 용융지의 형상 및 깊이에 대한 연구를 통하여 해결하려는 노력이 시도되고 있다<sup>3,4)</sup>. 한편 최근 국내에서는 고속 GTA용접시에 나타나는 각종 현상 및 용접 생산성에 미치는 텅스텐 전극의 형상과 소재에 대한 연구가 보고되고 있다<sup>8-10)</sup>. 두 번째 문제점은 로봇용접이나 자동용접 도중에 텅스텐 전극이 소모되어 용접 품질이 변한다고 하는 것이다. 이러한 품질의 불안정을 방지하기 위하여 현장에서는 일정시간마다 전극을 교체 또는 드레싱하지만, 라인의 정지시간 증가 또는 인력의 추가 소요 등 상당한 문제를 안고 있다. 따라서 平岡 등<sup>5)</sup>은 텅스텐전극의 형상에 따른 최대 아크압력의 변화에 관한 연구를 하였고, 松田 등<sup>6,7)</sup>은 텅스텐전극의 소재에 따른 아크개시 특성과 장시간 사용에 따른 조직변화 및 전극팁 주위의 림(rim)형성에 대하여 연구하였다. 그러나, 대전류 조건에서 GTA용접용 텅스텐 전극팁의 형상과 표면의 연마상태가 반복아크개시 특성과 장시간 사용 후 텅스텐 전극의 성능변화에 미치는 연구는 아직 충분히 이루어지지 못한 실정이다.

본 연구에서는 비교적 대전류인 200A 영역에서 란타니아 함유 텅스텐 전극팁의 소모기구를 규명하여 장기 사용특성을 향상시키는데 그 목적을 두었다.

따라서, 본 연구에서는 전극팁의 형상 및 표면상태가 다른 전극을 사용하여 반복 아크개시와 장시간 아크유지 시험을 실시하였고, 그로 인한 아크압력 변화 등에 관한 실험을 실시하였으며, 소모된 전극팁에 대한 SEM 분석을 통하여 전극 소모 기구를 규명하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 직경이 3.2mm인 란타니아 함유 텅스텐(2%La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-W) 전극을 사용하였다.

Fig. 1은 실험에 사용한 전극의 형상을 나타내고 있다. 즉 텅스텐 전극의 원추각은 30°, 45°, 60°인 원추형이 되도록 다이아몬드 지석으로 연마 가공(grinding)한 샤프팁(sharp tip)과 60° 샤프팁의 표면을 다시 1,000번 사포로 경면 연마한 표면 연마팁(surface polished, 이하 60° S.P.라 한다.)을 사용하였다.

아크 발생 시험은 위해서는 용량 300A의 인버터 용접기를 사용하였고, 모든 실험에는 직류 봉 마이너스

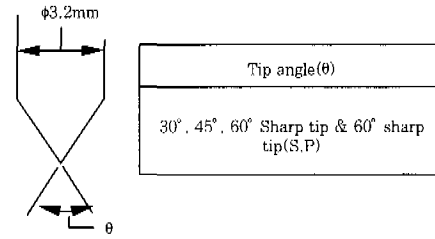


Fig. 1 Geometry of various electrode tips.

극성(DCEN)을 채용하였다. 또한, 보호가스는 Ar으로 하였고, 가스유량은 15l/min으로 일정하게 하였다.

Fig. 2는 전극팁의 초기형상과 연마상태에 따른 아크압력 계측을 위한 실험 장치의 개략적구성도이다.

모재쪽의 소재는 동판(300mm×140mm×15mm)으로 하였으며, 그 동판의 적당한 위치에 직경 1.5mm의 관통하는 작은 구멍을 뚫어서, 그 위에 아크길이 3mm, 전류 200A의 조건으로 정지 아크를 발생시켰다. 아크 발생시 동판의 온도상승을 방지하기 위하여 한쪽 끝에서는 연속적으로 수냉을 시켰다. 또한 그 작은 구멍의 아래쪽에 압력계인 마노미터(manometer)를 설치하여 아크압력을 계측하였다.

다만, 아크의 중심과 변두리의 압력차가 다른 것을 연속적으로 계측하기 위해서, 동판과 마노미터는 고정해두고 토치를 고정한 지그의 위치를 작은 구멍을 중심으로 하여 좌우방향으로 0.5mm씩 이동하면서 반경 5mm의 범위내에서 2회 반복 계측하였다<sup>5)</sup>.

용접 생산 현장에 있어서 실제 전극의 사용환경을 고려하여 전극팁의 손상에 대한 영향을 검토하기 위하여 반복 아크개시 시험과 장시간의 아크유지 시험을 실시하였고, 전극의 손상에 따른 아크압력의 변동을 비교 검토하였다.

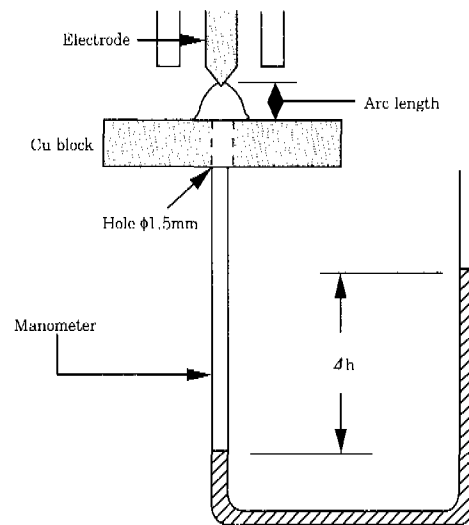


Fig. 2 Schematic diagram for measurement of arc pressure.

Fig. 3은 수냉 동판 위에서 정지아크를 발생시켜 아크개시 특성 시험과 장시간 아크유지 시험을 실시하기 위한 실험장치의 개략도를 보인 것이다. 아크개시 특성의 평가를 위한 반복시험에 있어서 松田 등<sup>6)</sup>은 30A의 전류로 실시하였기 때문에 반복시험에 따른 전극팁의 소모특성이 작게 평가되었지만, 본 연구에서는 전류 200A, 아크길이 8mm로 시험하여 충분한 가속 소모특성이 나타나도록 하였다. 또한 아크개시 특성 평가시험 방법은 전극팁-모재간 거리를 8mm로 하여 스위치 온(switch on) 상태로 10초간 유지하여 몇 초만에 아크가 정상적으로 개시되는 가를 평가하였다. 스위치 온 상태에서 10초가 지나도 아크가 개시되지 않으면 아크개시 실패로 간주하였고, 아크가 조기에 발생하더라도 모두 10초간은 유지하였으며 그 후 전극팁의 냉각을 위해서 보호가스를 20초간 분출시키고 나서 50초간 충분한 냉각을 시킨 후 다음 아크개시 시험을 계속하였다. 전체적인 아크개시 반복 시험은 100회 실시하여 통계처리 하였다.

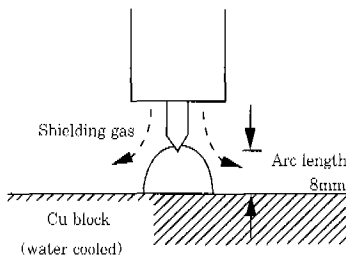


Fig. 3 Schematic diagram for arc start test.

한편, 장시간 용접시의 전극팁 소모 특성과 관련하여 장시간 아크유지 시험을 실시하였고, 여러 가지 형상의 전극을 사용하여 수냉 동판 위에 아크길이 3mm, 전류 200A의 조건으로 정지 아크를 발생시킨 후 60분간 유지하였으며 아크 발생 형상은 Fig. 3과 동일하게 하였다.

Table 1에는 각 실험에 대한 아크발생 조건을 요약하여 정리한 것을 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions for various arc characteristics tests.

| Test name                | Current | Arc length | Remark                   |
|--------------------------|---------|------------|--------------------------|
| Arc pressure measurement | 200A    | 3mm        |                          |
| Arc start test           | "       | 8mm        | Arc time 10sec. 100times |
| Long term arcing test    | "       | 3mm        | Arc time 60min.          |

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 초기의 아크압력 분포

Fig. 4에는 초기 전극팁의 형상에 따른 아크압력 분포를 나타내었다.

아크압력 분포는 전극팁의 형상에 관계없이 뾰족한 전극팁의 중심점 직하가 가장 높고 그 점에서 멀어질수록 아크압력은 감소하는 경향을 나타내었다.

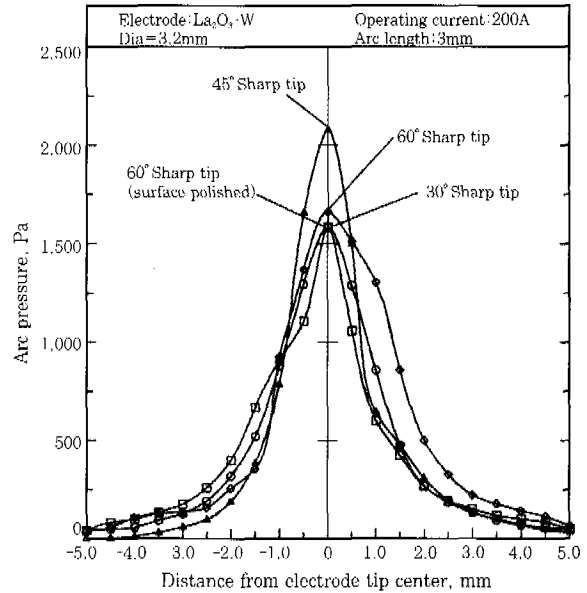


Fig. 4 Arc pressure distribution of various electrode tips.

모재쪽에서 형성되는 아크면에서의 최대 아크압력은 45° 샤프팁이 가장 크고, 60° 샤프팁, 30° 샤프팁 및 60° S.P.의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 전극팁의 표면을 사포로 정밀 연마한 60° S.P.를 제외하면 平岡 등<sup>3)</sup>의 결과와 거의 일치하였다.

山内와 高<sup>11)</sup>에 의하면 모재쪽에 형성되는 최대 아크압력은 음극인 전극팁쪽의 아크 루트 직경이 양극인 모재쪽의 아크 루트 직경에 비하여 작을수록 커진다고 보고하였다. 따라서 이 최대 아크압력을 감소시키기 위해서는 음극쪽 아크 루트 직경을 크게 하거나 양극쪽 아크 루트 직경을 작게 하는 것이 필요하다.

본 연구의 Fig. 4에서 전극의 원추각이 45° 보다 큰 60° 샤프팁의 경우는 음극인 전극팁의 아크 루트(arc root) 직경이 커져서 모재쪽에 형성되는 아크압력이 45° 인 경우보다 작아진 것으로 판단된다. 또한 원추각이 작아질수록 즉 뾰족해질수록 전극의 끝단부와 동판과의 최단거리에 아크가 집중하게 된다. 그러나 원추각이 45° 보다 작은 30° 인 경우는 전극팁이 너무 뾰족해지기 때문에 아크발생부위에서 뒤쪽으로 열이 전도되기 곤란하여 고온영역이 급격하게 확대되므로 열전자 방출이 용이해지는 영역이 넓어지게 되어 전극팁의 아크 루트 직경은 오히려 커지게 된다. 따라서 원추각이 30° 로 작게 되면 모재쪽의 최대 아크압력은 작게 된다.

결국, 원추각 45°에서 아크압력이 최대가 되는 것은 음극인 전극팁에서 형성된 아크 루트 직경이 모재 쪽에 형성되는 아크 루트 직경에 비해 가장 작게 형성되기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 平岡 등<sup>3)</sup>은 원추각 45°에서의 음극쪽 아크발생 면적이 최소로 되는 것이 아크압력이 최대가 되는 이유라 하였다.

표면연마 팁인 60° S.P.의 경우 최대 아크압력이 연마 가공전의 60° 샤프팁보다 낮은 30° 샤프팁과 비슷하게 측정되었는데, 이것은 표면을 경면 연마하는 과정에서 전극팁의 뾰족한 중심부도 연마되어 다소 무디어진 것 때문에 음극쪽 아크 루트 직경이 다소 증가한 것이 주된 영향이라고 판단된다.

3.2 반복 아크개시 시험후의 아크압력 변화

Fig. 5는 반복 아크개시 시험후의 아크압력 분포를 보여주고 있다. Fig. 4에 보인 반복 아크개시 시험전의 최대 아크압력 분포와 비교할 때 전체적인 경향은 큰 차이를 보이지 않았지만, 최대 아크압력의 크기는 크게 낮아졌다. 또한 60° 샤프팁과 60° S.P.에서의 최대 아크압력은 거의 비슷하게 되면서 30° 샤프팁의 그것보다는 오히려 크게 낮아진 것이 흥미롭다고 할 수 있다.

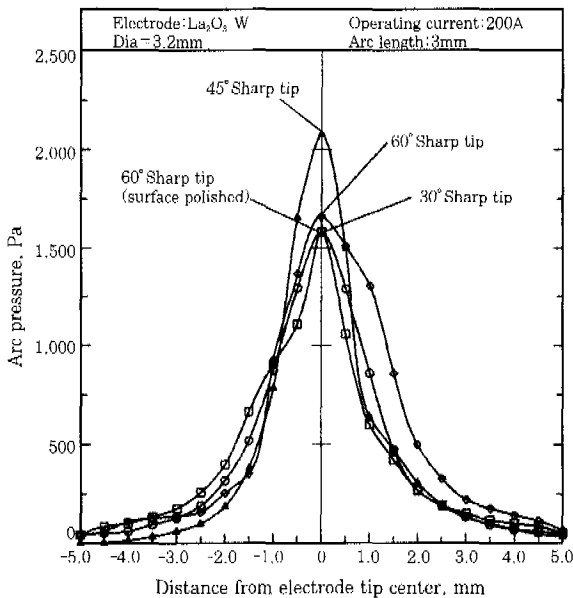


Fig. 4 Arc pressure distribution of various electrode tips.

Fig. 5에서와 같이 최대 아크압력이 전체적으로 낮아진 것은 반복 아크개시 및 10초간의 아크유지로 인하여 전극팁이 소모되어 전극 끝단에서 아크가 집중되지 않고 퍼지기 때문에 전극팁에서의 아크 루트 직경이 다소 증가한 것이 주된 이유라고 판단된다. 또한 원

추각이 30°인 전극팁에서의 최대 아크압력은 그다지 감소하지 않았으며, 원추각 60°인 두 전극팁에서의 그것보다 오히려 높은 것은 전극팁의 원추각이 작아서 뾰족하기 때문에 중심부가 다소 소모되어 둥글게 되어도 끝부분에 형성되는 아크 루트 직경은 그다지 커지지 못하기 때문이라고 판단된다.

결과적으로 높은 전류에서 고속으로 안정된 용접을 실시하기 위해서는 기존의 연구에서 밝혀진 바와 같이 최대 아크압력이 작아져야 하고<sup>8-10)</sup>, 이것을 고려한다면 원추각 60°인 전극팁을 전극이 소모되었을 때의 형상과 같이 적절하게 연마 또는 가공하여 활용하는 것이 근본적으로 유리할 것으로 판단된다. 한편, 원추각 30°인 전극팁은 전체적으로 아크개시 특성은 비교적 우수하지만 아크압력이 감소하지 않기 때문에 대 전류 고속용접에는 적합하지 않다고 할 수 있다.

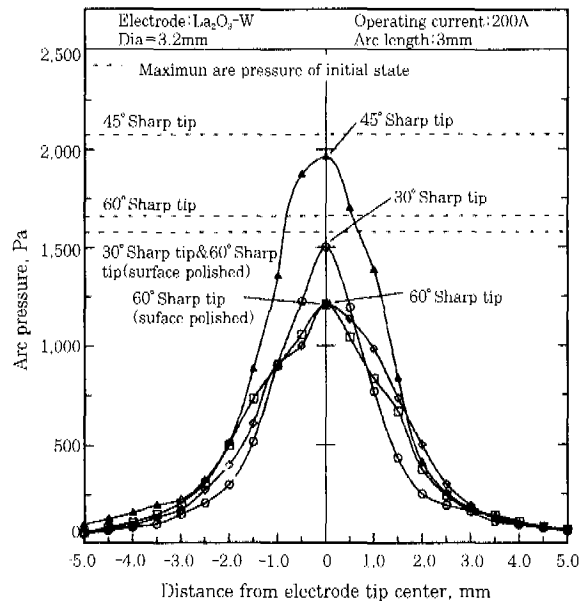


Fig. 5 Arc pressure distribution of various electrode tips after repeated arc start test(100times).

Fig. 6은 100회의 반복 아크개시 시험을 통하여 측정한 아크개시 평균지연시간을 전극팁의 원추각에 따라 나타낸 것이다. 여기서 아크개시 평균지연시간이 짧다고 하는 것은 아크개시가 원활하다는 것을 의미한다. Fig. 6에서의 경향을 보면 원추각이 작아질수록 아크개시는 신속해짐을 알 수 있다. 그러나 표면을 경면 연마한 60° S.P. 전극팁은 가장 짧은 시간에 아크가 개시된다. 이것을 표면 거칠기가 큰 상태로 그냥 사용한 60° 샤프팁과 비교해 보면, 전극팁의 표면이 거칠게 되어 있으면 Fig. 7의 모식도에서 빗금친 표면의 거친 돌출부 끝은 아크 발생시 주변보다 상대적으로 고온으로 되어 란탄산화물 즉 란타나(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 쉽게 증발하여 소멸하기 때문에 아크개시 특성이 쉽게 나빠지는 것으로 보인다.

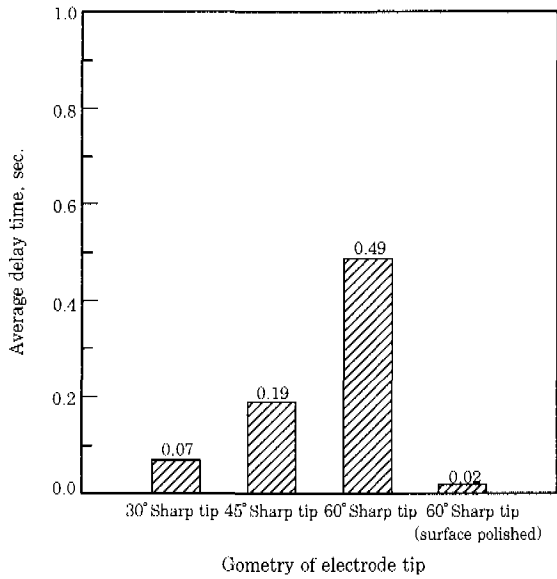


Fig. 6 Average delay time of various electrode tips due to arc start test.

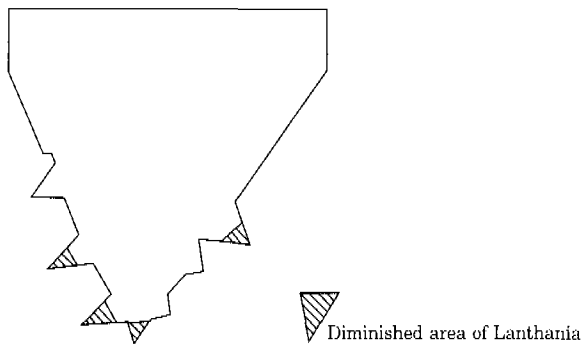


Fig. 7 Diminished area of Lanthania due to the high temperature of crest in rough surface.

### 3.3 장시간 아크유지 후의 아크압력 변화

Fig. 8은 200A, 60분의 조건으로 장시간 아크유지 시험 후에 측정한 아크압력 분포를 나타낸 것이다. 장시간 아크유지 후의 아크압력 분포도 전체적인 양상은 초기와 큰 차이가 없었지만, 최대 아크압력은 초기에 비하여 현저하게 낮아졌고, 원추각 60°인 경우를 제외하면 반복 아크개시 시험후의 최대 아크압력보다도 상당히 낮아졌음을 알 수 있다. 그러나 최대 아크압력의 순서는 여전히 45°, 30°, 60°의 순서로 낮아졌다. 특히 원추각이 60°인 전극팁은 반복 아크개시 시험후의 최대 아크압력과 장시간 아크유지후의 그것이 그다지 달라지지 않아서 상당히 안정된 전극팁의 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

결과적으로 30° 샤프팁의 경우는 아크개시 특성은 비교적 우수하지만 전체적으로 최대 아크압력이 높기

때문에 현장의 대전류 고속용접에는 부적합하다고 할 수 있고, 45° 샤프팁의 경우는 아크개시 특성과 최대 아크압력 모두 불리한 것으로 나타났다. 또한 전극팁을 경면 연마한 60° S.P.는 아크개시 특성도 양호하고 최대 아크압력도 낮으면서 안정되기 때문에 현장의 대전류 고속용접 특성이 우수할 것으로 기대된다.

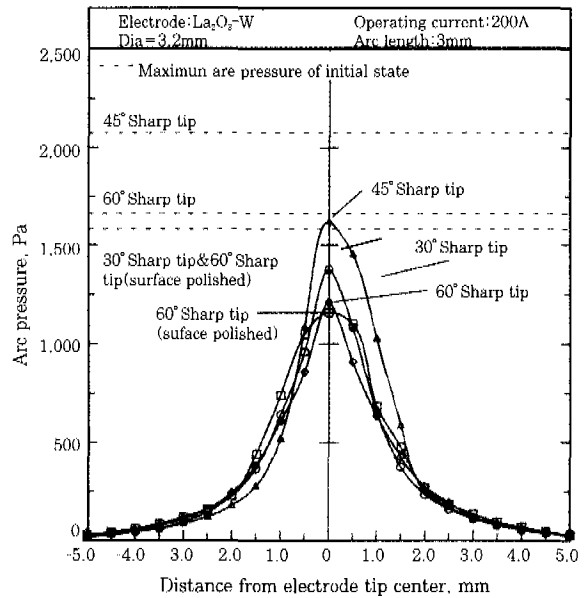


Fig. 8 Arc pressure distribution of various electrode tips after long term test(60min.).

### 3.4 장시간 아크유지 후 전극팁의 상태 변화에 대한 미시적 고찰

Fig. 9 (a)~(f)는 60° 샤프팁, 200A의 조건으로 수냉 동판 위에서 행한 아크유지 시험에 있어서 아크유지 시간에 따른 전극팁 외관의 변화를 나타낸 것이다. 아크의 유지시간이 길어짐에 따라 아크 발생부위의 전극팁은 초기의 뾰족한 상태에서 점점 무디어지며 아크 발생부 위쪽에는 림(rim)이 형성되어 성장하고 있다. 각 사진에서 전극팁의 방향이 조금씩 달라져서 팁의 무딘 정도에 다소 산포가 있는 것으로 보이지만 전체적으로는 시간에 따라 무디어지는 정도는 심해지는 경향을 보였다. 또한 전극팁 주변에 형성되는 림의 크기도 시간에 따라 커지지만, 약 40분 이후부터는 아크유지중에 조금씩 탈락하는 경우가 있었기 때문에 반드시 시간에 비례하여 증가하는 것으로는 보이지 않았다. 이러한 림은 전극팁 부분의 텅스텐이 고온으로 인해 부분적으로 용융하고 증발하였다가 다시 응축된 전극팁의 아크 발생부위 약간 상부에 부착하여 응고하여 형성되는 것으로 알려지고 있다<sup>5)</sup>.

Fig. 10 (a), (b)는 초기 상태의 전극(원추각 60°)과 60분간 아크(200A)를 유지시킨 후 전극을 절단하

여 얻은 단면 형상과 거시적 조직을 보인 것이다. (a)는 초기 상태의 전극팁에 대한 단면 형상과 거시적 조직으로서, 초기 상태이므로 끝의 형상이 뾰족하며, 섬유상의 치밀한 조직으로 이루어져 있다. (b)는 60분간 아크를 유지시킨 후의 전극 단면으로서 끝이 많이 무디어져 있으며 그 조직이 재결정과 결정성장에 의해 심하게 조대해진 것으로 나타났다<sup>12)</sup>. 이와 같이 끝이 무디어지게 된 것은 전극팁이 아크 발생으로 텅스텐의 용점보다 높은 온도로 상승하여, 끝단의 텅스텐을 용융·증발시킨 것 때문인 것으로 알려지고 있다<sup>5)</sup>. 아크 압력의 분포에 있어서 그 초대 압력이 낮아지는 것은 바로 이러한 전극팁의 형상 변화가 주요 원인인 것으로 판단된다.

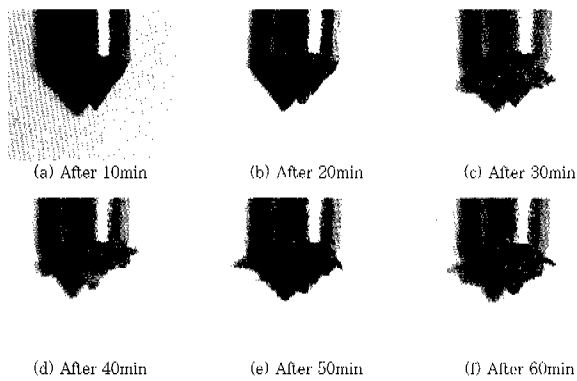


Fig. 9 Variation of electrode tip configuration as welding time (60° sharp tip, 200A).

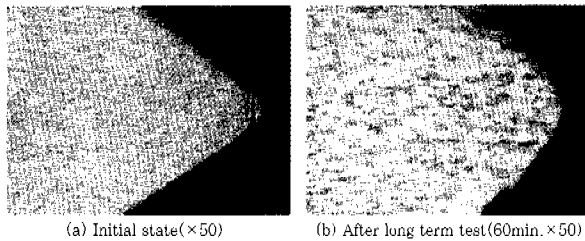


Fig. 10 Configuration and macrostructure in cross-section of electrode tip(60° sharp tip, 200A).

Fig. 11 (a), (b), (c)는 장시간 아크유지 시험 후의 전극팁(원추각 60°)에 대하여 실시한 SEM 분석 결과를 보인 것이다. (a), (b), (c) 각각의 왼쪽 사진은 손상된 전극팁의 각 부분에 대한 미시적 사진을 보인 것이고, 오른쪽의 그림은 그 부분에 대한 EDX 분석 결과를 보인 것이다.

Fig. 11 (a)는 손상된 전극팁 끝부분 표면근방의 SEM조직과 성분분석 결과로서 왼쪽의 조직 사진에서 보면 기공과 같은 결합이 존재하며 이것이 외부와 관통성으로 연결되어 있었다. 이와 같이 전극팁의 표면에서는 텅스텐 성분만이 검출되었고, 초기에 존재하였

던 란탄 성분은 나타나지 않았다. 란탄성분은 원래는 산화물인 란타니아(Lanthania, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 형태로 존재하였지만, 그 용융점이 텅스텐보다 낮기 때문에 우선적으로 증발하여 소멸된 것으로 보인다. 특히 산화물인 란타니아는 토리아(Thoria, ThO<sub>2</sub>)와 함께 텅스텐보다 전자방출 특성이 우수하지만, 이와 같은 현상으로 인하여 아크 개시 특성이 나빠지는 것으로 보인다. 따라서 전극팁의 적절한 냉각시스템과 팁의 냉각이 용이한 원추각(예를 들면, 60°) 채용 등은 전극 수명을 연장시키는 중요한 수단이 될 수 있다.

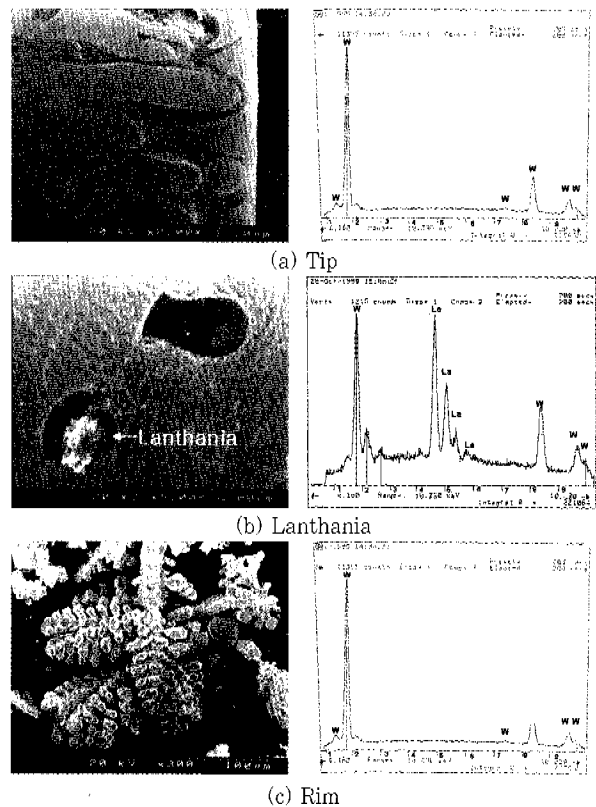


Fig. 11 SEM image and the result of EDX analysis for consumed electrode tip and rim.

Fig. 11 (b)는 손상된 전극팁 표면에서 약간 내부로 들어간 부분에 대한 분석결과로서 왼쪽 사진의 우측 상단에서 보이는 기공과 좌측 하단의 기공내부에 존재하는 입자가 흥미롭다. 이것에 대한 분석 결과를 우측의 그림에 나타내었는데, 텅스텐 뿐만 아니라 란탄 성분도 함께 검출되어 왼쪽 사진의 기공내에 존재하는 입자는 란타니아인 것으로 판단된다. 즉 전극팁의 극히 표면부에는 온도가 심하게 상승되기 때문에 란타니아는 소멸되지만 내부로 들어가면 란타니아가 그대로 남아있음을 알 수 있다. 따라서 장시간 사용하여 팁이 소모된 전극은 그 표면을 다소 연마해내면서 적절한 모양으로 가공하게 되면 내부의 란타니아가 표면에 다시 나타나게 되므로 아크 발생특성이 우수해질 수 있

는 것으로 기대된다.

Fig. 11 (c)는 전극의 경사면에 형성된 립에 대한 SEM 사진 및 그 성분 분석결과를 보인 것이다. 왼쪽의 사진에서 보면 전형적인 덴드라이트(Dendrite) 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이 조직에 대한 성분 분석 결과, 주로 텅스텐 성분이 검출되었다. 이러한 립의 형성 기구는 松田 등<sup>4,5)</sup>이 고찰한 바와 같이 고온의 선단부에서 용융·증발한 텅스텐 증기가 고온의 상승기류를 타고 위쪽으로 이동하면서 비교적 온도가 낮은 아크 발생부 상부의 경사면에 부딪치면서 냉각되어 응결하여 계속 쌓이는 것이라고 판단된다. 이러한 고찰에 의하여 전극팁의 소모는 주로 끝부분의 온도 상승과 성분의 증발 때문에 발생하는 것으로 볼 수 있으며 전극팁의 장기 사용을 위해서는 끝부분의 냉각과 성분 증발의 억제에 위한 접근이 유효할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

직경이 3.2mm인 GTA용접용 란타니아 함유 텅스텐 전극팁을 30°, 45°, 60° 및 60° 표면 경면연마(60° S.P.) 형태로 하여 200A의 전류로 아크 압력 시험, 아크개시 시험 및 장시간 유지시험을 수행하여 각종 현상을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 초기의 전극팁에 대한 최대 아크압력은 45° 샤프팁에서 가장 크게 되었고, 다음이 60° 샤프팁이었으며, 30° 샤프팁과 60° 표면 경면연마팁은 비슷한 값을 보였다.

2) 반복 아크개시 특성은 전극의 원추각이 작을수록 유리하였지만, 60° 샤프팁의 경우는 표면을 경면연마한 경우에 그 특성이 더욱 우수하여 졌다. 따라서 정확하게 아크개시를 해야 하는 경우는 반드시 전극팁을 경면연마하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3) 반복 아크개시 시험 및 장시간 아크유지 시험 후의 최대 아크압력은 모두 45° 샤프팁에서 가장 크게 되었고, 다음이 30° 샤프팁이었으며, 60° 샤프팁과 경면연마팁에서 가장 낮게 나타났다.

4) 아크개시 또는 장시간 유지로 인한 전극팁의 소모 기구는 아크 발생부의 온도 상승으로 인하여 산화

물과 텅스텐이 용융·증발하기 때문인 것으로 추정되며, 이로 인하여 전극팁이 무디어져서 아크의 최대압력이 감소하는 특성을 보였다. 따라서 장시간 사용하여 팁이 소모된 전극은 그 표면을 다소 연마해내면서 적절한 모양으로 가공하게 되면 내부의 란타니아가 표면에 다시 나타나게 되므로 아크 발생특성이 우수해질 수 있는 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. 日本溶接協會編 : 新版 ティグ溶接法の基礎と實際, 産報出版, 日本 東京(1992)
2. Metal handbook, Welding, Brazing, and Soldering, Vol.6, ASM, pp30-35, pp.190-194.
3. R.T.C. CHOO, J. SZEKELY AND R.C. WESTHOFF : Modeling of high-current arcs with emphasis on free surface phenomena in the weld pool, Welding Journal(1990) May, pp.346s-361s.
4. S.D. KIM, S.J. NA : Effect of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten Arc Welding, Welding Journal(1992) May, pp.179s-193s.
5. 平岡和雄, 岡田 明, 稻塚道夫 : TIGアークにおける最大アーク壓力に及ぼす電極形状の影響, 日本溶接學會論文集, 第3巻, 第2(1985), pp.246-252.
6. 松田福久, 牛尾誠夫, 熊谷達也 : ランタン, イットリウム, セリウム入り各タングステン電極によるアーク特性の比較研究, 日本溶接學會論文集, 第6巻, 第2(1988), pp.199-204.
7. 松田福久, 牛尾誠夫, 藤井裕之, アルベールサデク : 酸化物入りタングステン電極の消耗形, RIM 形成について, 日本溶接學會論文集, 第6巻, 第2(1988), pp.205-209.
8. 오동수, 조상명 : 스테인리스강 필릿용접부의 고속 TIG용접 공정에 대한연구, 산업기술 교육훈련지, 제1권, 제1호(1996), pp.21-29.
9. 조상명 : 고속 TIG용접의 비드 안정성에 관한 연구, 韓國船舶機關學會誌, 第18巻, 第3(1996), pp.318-327.
10. 서상균, 조상명, 감병오, 이성규 : TIG 용접용 텅스텐 전극팁의 형상 및 소재가 용접 특성에 미치는 영향, 대한용접학회 특별강연 및 춘계학술발표대회 개요집(1999), pp.189-192.
11. 란카스타 編著 : 溶接アークの物理, 社団法人 溶接學會 溶接アーク物理研究委員會, 東京(1990), pp242-246.
12. Metals handbook, Properties and selection : Stainless steel, tool materials and special purpose metals, 9th Edition, Vol. 3, ASM(1980), pp325-329.