

## GMA용접 중 콘택트팁의 미세조직과 경도변화

김남훈\* · 김가희\* · 김희진\* · 유희수\* · 고진현\*\*

\*한국생산기술연구원

\*\*한국기술교육대학교

### Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding

Nam-Hoon Kim\*, Ka-Hee Kim\*, Hee Jin Kim\*, Hoi-Soo Ryoo\* and Jin-Hyun Koh\*\*

\*Advanced Welding & Joining Technology Team, KITECH, Chonan 330-820, Korea

\*\*Dept. of Advanced Material Engineer, Korea University Technology, Chonan 330-708, Korea

#### Abstract

Contact tip is located so near to welding arc that it is heated to high temperature during long time welding. In such a situation, tip changes in its microstructure and in turn its mechanical properties. This study was intended to investigate those changes by using simulated heat treatment. As a result of this study, it was confirmed that tip of Cu-P alloy hardened with severe cold deformation lose its initial hardness to a large extent within 60 min due to the occurrence of rapid recrystallization while that of Cu-Cr composition hardened by proper aging treatment can preserve its initial hardness for about 1,000 min or longer. Based on these results, suggested was a guideline that can classify contact tips into two different grades: deformation-hardened type and precipitation-hardened type. Following a guideline, a tip with Cu-Cr composition can be classified into the deformation-hardened type if it is in the over-aged condition. Such a guideline is well described.

\* Corresponding author : namshy@kitech.re.kr

(Received January 7, 2004)

Key Words : Contact tip, GMA welding, Precipitation hardening, Deformation hardening

### 1. 서 론

가스메탈아크용접(gas metal arc welding, 이하 GMA 용접이라고 함)과 서브머지드아크(submerged arc)용접에서는 용접와이어가 토치 선단에 위치한 콘택트팁을 통하여 공급되며, 공급된 와이어의 선단은 용접을 수행하고자 하는 위치를 지향하도록 유도된다. 콘택트팁에 의해 유도된 와이어는 와이어 선단과 모재 사이에서 발생하는 아크열에 의해 용융되고, 용융된 금속은 용접하고자 하는 위치에서 용융풀을 형성하게 된다. 용접아크는 전기적 에너지를 열적 에너지로 변환시켜 주는 것인데, 아크 생성에 필요한 용접전류는 콘택트팁(contact tip)과 와이어가 접촉되는 부위를 통하여 와이어에 전달되는 것이다. 그럼으로 콘택트팁의 기능은

(i)용접전류를 와이어에 전송하면서, (ii)와이어를 용접하고자 하는 위치로 유도하는 것이다<sup>1)</sup>. 이러한 기능을 온전히 수행할 수 있도록 콘택트팁에는 와이어의 직경보다 다소 큰 구멍이 길이 방향으로 정밀 가공되어 있다. 그런데 자동용접장치에 의해 동일한 용접을 장시간 수행하게 되면 출구측 구멍이 확장되어 상기한 기능, 특히 두 번째 기능을 온전히 수행하지 못하게 되어 팁을 교환하여 주어야 한다. 지금까지 발표된 문헌을 조사하여 보면, 콘택트팁의 구멍이 확장되는 원인, 즉 콘택트팁의 손상 기구로는 두 가지가 보고 되고 있다<sup>2-5)</sup> 첫째는 콘택트팁으로부터 와이어로 용접전류가 전송되는 과정에서, 이들 사이에 미세 아크가 발생하여 와이어와 콘택트팁이 용융접합(electric erosion)되는 것이다. 다음으로는 와이어가 용접아크에 의해 가열된 콘택트팁을 통과하면서 발생하는 기계적 마모(mechanical

wear)이다. 그럼으로 콘택트팁의 수명(life time)을 길게 하기 위해서는 이에 사용되는 재료가 우수한 전기 전도도 뿐 만 아니라 고온에서 충분한 내마모성, 즉 높은 경도를 유지하여야 한다. 이러한 요구조건, 특히 높은 경도치를 확보하기 위하여 콘택트팁은 시효처리 또는 냉간가공된 구리합금을 사용하는 것이 일반적이다. 그런데 콘택트팁은 용접아크에 노출되어 있기 때문에 GMA용접을 수행하게 되면 용접아크로부터 복사열을 받아 고온으로 가열된다. 콘택트팁은 고온의 아크열에 의해 전반적으로 가열되기도 하지만, 자체 저항열 또는 와이어와의 접촉부에서 발생하는 저항열 등으로 인해서 팁 선단이 국부적으로 가열되는 것이다<sup>6)</sup>. 이렇게 고온 환경에 장시간 노출되면 콘택트팁의 미세조직은 변화할 수밖에 없고, 결과적으로 초기에 부여된 높은 경도치를 장시간 유지할 수 없을 것으로 예상된다. 그리고 노출 시간에 따른 경도치 변화는 콘택트팁의 조성 및 팁을 제조하는 방법에 따라 차이가 있을 것으로 예상되었다. 그럼에도 국내외적으로 이에 대해 체계적으로 연구한 보고를 찾아 볼 수 없어서 본 연구를 수행하게 된 계기가 되었다.

그러나 본 연구의 궁극적인 목적은 콘택트팁을 규격화 하는 작업을 촉진하고자 하는 것이다. 최근 국내 용접산업계에서는 자동화용접이 확산되고 고전류용접이 보편화 되면서 콘택트팁이 처한 환경은 보다 열악해지고 있다. 이러한 상황에서 팁의 수명은 짧아 질 수밖에 없고, 팁을 빈번히 교환하여 주어야 하기 때문에 결국에는 용접생산성을 저해하는 요인으로 작용하게 된다<sup>7-9)</sup>. 그럼에도 불구하고 콘택트팁에 관한 수명에 근거한 선별기준이 마련되어 있지 않은 것이 국내 현실이다. 일부 중공업사에서 자체 규격을 제정하여 운영하고 있지만<sup>10)</sup>, 이들은 화학조성 또는 초기 경도치 등만을 규정하고 있을 뿐 사용환경을 고려하고 있지는 않다. 저자들은 이러한 국내 현실을 바탕으로 콘택트팁의 사용환경과 수명에 근거하여 새로운 규격을 제정하는 것이 필요하다고 생각하였으며, 이를 위한 기초 시험으로서 본 연구를 일차적으로 수행하였다.

본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 인탈산동(Cu-P), 크롬동(Cu-Cr)계열의 콘택트 팁을 시중에서 구매하여, GMA용접 중 내마모성에 직접적인 영향을 미치는 미세조직 및 경도 변화를 열처리 실험을 통하여 규명해 보고자 하였다.

## 2. 실험방법 및 재료

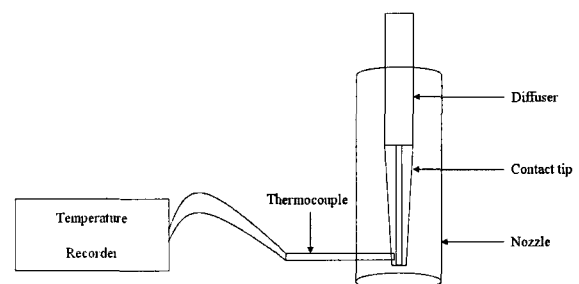
본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 인

탈산동팁과 크롬합량이 서로 다른 두 가지 팁을 시중에서 구매하여 사용하였으며, 공냉토치를 사용하여 수행하였다. 화학조성의 균질성을 보기 위하여 각각에 대해 여러 개의 시편을 동일한 방법으로 분석을 실시하였는데, Table 1은 이들의 화학조성 분석 결과를 보여 주고 있다. 인탈산동 팁은 인(P)의 함량이 0.16%로 매우 균일한 조성을 보여 주었으나, 크롬동팁은 크롬합량이 있어서 다소의 편차를 보여 주었다. 크롬이 적게 함유된 것으로 알려진 팁의 크롬합량은 0.2~0.35%의 범위에 있었으며(이하 0.25%크롬동팁이라 칭함), 크롬이 많이 함유된 것으로 알려진 팁은 0.8~1.0%의 범위(이하 1%크롬동팁이라 칭함)에 있었다. 그리고 각각에 대해 경도를 측정 한 결과, 1%크롬동팁이 151Hv로 가장 높았으며, 인탈산동팁과 0.25%크롬동팁은 각각 136Hv 및 138Hv로 유사하였다.

모의 열처리실험에 적용할 온도를 설정하기 위하여 실제 용접상황에서 콘택트팁의 온도 변화를 미리 측정하였다. Fig. 1에서 보듯이 콘택트팁 출구부분에 구멍을 내어 열전대를 꽂고, 용접을 실시하면서 온도측정장치를 사용하여 300초 동안 온도변화를 측정하였다. 이러한 실험에 의해 확인된 고온환경을 일반 전기로를 사용하여 재현하였는데, 전기로의 온도를 사전 시험에 의해 실측된 팁온도로 설정한 다음 콘택트팁을 장입하였다. 열처리 시간은 10분에서부터 2000분 이상이었으며, 열처리가 완료된 시편에 대해서는 경도와 미세조직 변화를 관찰하였다. 경도측정은 마이크로 비커스를 사

**Table 1** Result of chemical analysis for contact tips used in this study

Identification	Composition(wt.%)		Hardness(HR <sub>B</sub> /Hv)
	Cr	P	
Cu-P	-	0.016	63/136
Cu-0.25%Cr	0.20~0.35	-	65/138
Cu-1%Cr	0.8~1.0	-	78/151



**Fig. 1** Schematic drawing of temperature measurement of contact tip during GMA welding

용하여 시간에 따른 경도 변화를 측정하였다. 측정 하중은 500g로 하였고, 미세조직은 주로 광학 현미경을 사용하였으며, 에칭은 에탄올 120ml, 염산 20ml, 제3 염화철 5ml용액으로 하였다. 일부 광학 현미경 시편에 대해서는 SEM(Scanning Election Mocrscopy)과 EDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 등으로 미세상을 분석 하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 온도측정결과

용접 중 콘택트팁은 고온의 아크열에 노출되어 가열되며, 다른 한편으로는 토치 케이블로 열전달 되어 냉각된다. 이러한 가열 및 냉각이 평행상태에 이르면 콘택트팁의 온도는 일정하게 유지되는 것이다. 이러한 상황은 Fig. 2에서 보여주고 있는데, 이는 노즐냉각 장치가 부착된 용접토치를 사용하고, 용접전류 250A, 용접전압 30V, CTWD 20mm인 조건에서 팁의 온도 변화를 측정한 결과이다. 용접이 시작되면 팁 온도는 급격히 상승하며, 약 30초 정도가 경과하면 최고온도인 450°C부근에 도달하여 이후 계속 유지됨을 확인할 수 있었다. 최고 가열온도는 용접전류가 증가할수록, CTWD가 작을수록 증가하게 되는데<sup>1,6)</sup> 본 연구에서는 상기한 가지 조건 만을 대상으로 하였다. 따라서 본 연구에서는 용접이 진행되는 동안 콘택트팁이 일정한 온도(450°C)에서 열처리되는 상황을 가정하고, 이를 전기로 내에서 모의시험을 실시한 것이다.

#### 3.2 인탈산동 콘택트팁

인탈산동팁에서 인(P)은 탈산을 목적으로 첨가된 인 중 일부가 잔류한 것으로 모두 구리 내에 고용되어 있

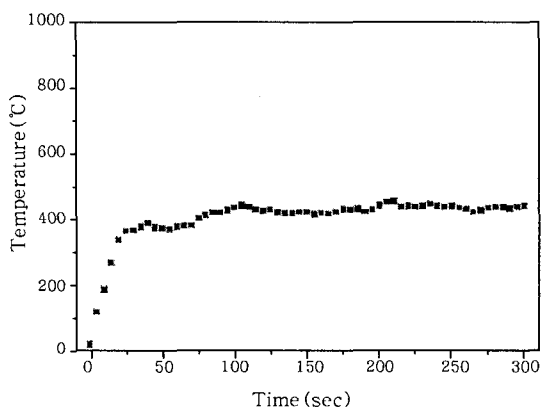


Fig. 2 Temperature variation of contact tip in GMA welding at 250A

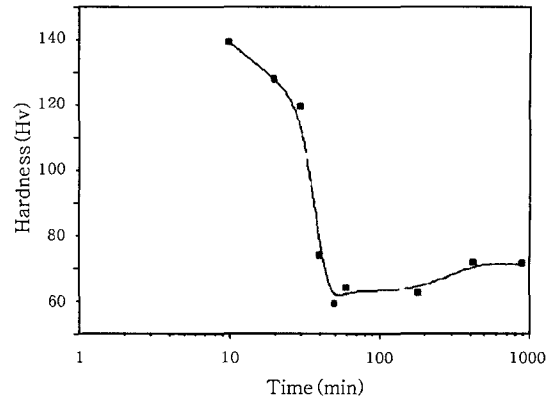


Fig. 3 Hardness variation of Cu-P tip with he at treatment time at 450°C

는 상태(solid solution)이다. Fig. 3은 450°C에서 열처리 한 인탈산동팁의 시간에 따른 경도 변화를 나타낸 것인데, 대략 60분 정도가 경과하면서 경도값은 1/2정도로 저하한다. 이렇게 저하된 경도값은 1000분이 경과하여도 별 다른 변화가 없음을 보여주고 있다. 이러한 변화는 가공경화 된 재료가 회복 및 재결정(recovery and recrystallization)되면서 나타나는 현상임을 미세조직 관찰을 통하여 규명할 수 있었다. Fig. 4의 a)는 팁 원자재, 즉 열처리 전의 미세조직으로써 냉간가공에 의해 조직들이 연신된 것을 볼 수 있다. 그리고 여기서는 어떠한 석출상도 발견되지 않았다. Fig. 4의 b)는 450°C에서 60분 동안 열처리한 시편의 미세조직인데, 연신된 가공조직은 없어지고 완전 재결정이 일어난 것을 알 수 있었다. 그러므로 인탈산동팁은 용접 시 재결정 온도 이상으로 가열되며, 용접시간이 60분 이상이 되면 완전 재결정이 일어나서 팁의 최저경도치에 도달한다는 것이다. 즉 냉간압출로 인해 상온에서 높은 경도치가 부여된 팁은 짧은 시간에 그 효과가 소멸된다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.3 1%크롬동 콘택트팁

Fig. 5는 1%크롬동팁의 열처리 시간에 따른 경도변화를 보여주는 실험결과인데, 초기 10분 동안에 급격한

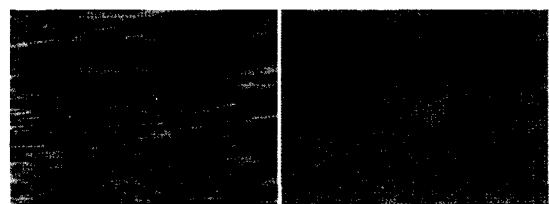


Fig. 4 Microstructure of Cu-P tip: (a)as-received condition, (b) 450°C/60min

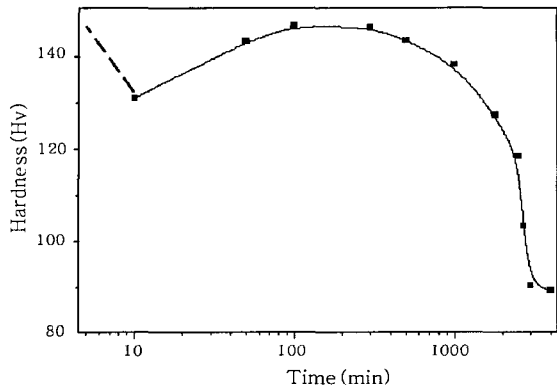


Fig. 5 Hardness variation of 1%Cr tip with heat treatment time at 450°C

경도 저하를 보여 주다가 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 열처리 시간이 300분에 도달하면 비록 초기 경도치 보다는 낮지만 약 145Hv 정도의 최고 경도치에 도달하고, 이후에는 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 여기서 한 가지 특이한 사항은 약 1500분 까지도 130Hv의 높은 경도치를 유지하고 있다는 것이다. 즉 1500분 이상의 장시간 용접에서도 1%크롬동 콘택트팁은 높은 경도치를 유지 할 수 있다는 것이다.

Fig. 6은 열처리 시간에 따른 미세조직 사진이다. Fig. 6의 (a)는 열처리 전의 원자재인데, 여기에서 연신된 조직과 기지 내에 석출된 입자상들을 볼 수 있다. 연신된 정도를 인탈산동팁(Fig. 4 (a))과 비교하여 보면 커다란 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 6의 (b)는 경도치가 최대에 이르는 300분 열처리 후의 미세조직인데, 초기 상태와 같이 연신된 형상은 유지하고 있지만 다소 조대화 되었음을 알 수 있다. 그러나 석출된 입자들은 어떠한 변화도 보여 주지 않았다. Fig. 6 (c)는 3000분 열처리 후의 미세조직인데, 여기서는 완전 재결정된 조직을 보여 주고 있다. 그리고 석출된 입자의 크기가 증가하였음을 확인 할 수 있었다. 이들 입자는 광학현미경상에서 확인되는 입자들로서 크기가 무척 조대화할 뿐만 아니라 연신된 형상도 가지고 있어서 시효 처리에 의해 생성된 입자라고는 할 수 없다.

이들 입자상을 보다 명확히 규명하기 위하여 주사전 자현미경(SEM)으로 고배율에서 관찰하여 보았는데, 입자의 형상은 구형 또는 연신된 형상 등을 보여 주었다. Fig. 7에서는 연신된 형상의 입자를 고배율로 관찰한 것인데, (a)는 SEM사진이며, (b)는 크롬 성분 맵핑(mapping)한 결과이다. 여기서 입자상은 구리 기지조직에 분산되어 있는 순수 크롬입자임을 확인할 수 있었다. 다음에 언급하겠지만 여기서 관찰된 크롬입자들은 구리-크롬의 공정반응에서 생성된 정출물로서 경도에는 영향을 미치지 못하는 입자이다.

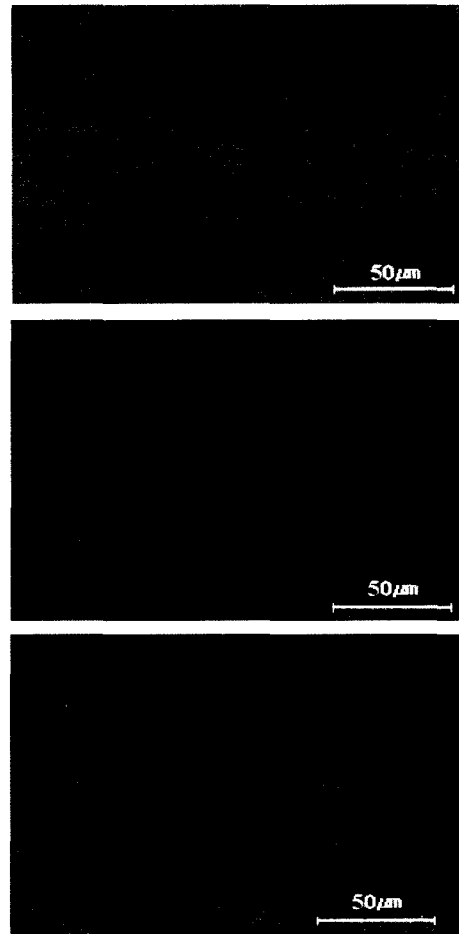


Fig. 6 Microstructure of 1%Cr tip: (a)as-received condition, (b)450°C/300min, (c)450°C/3,000min

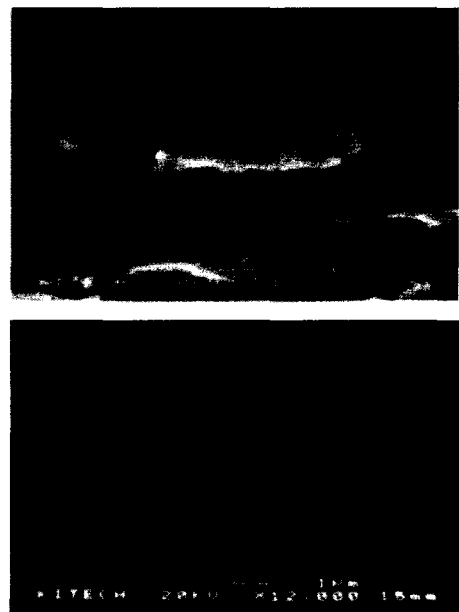


Fig. 7 Microstructure of 1%Cr tip: (a)SEM image of Cr particles and (b)corresponding Cr Mapping image

이상의 실험결과로부터 1%크롬동팁의 생산과정을 다음과 같이 유추하여 볼 수 있다. 1%크롬동팁은 가공강화 뿐만 아니라 구리 기지조직에 분산되어 있는 크롬입자에 의한 석출강화에 의해서도 경도가 향상되는 재료이다. 이러한 재료를 어닐링한 후에 인발하여 최종 형상을 만들게 되면 인탈산동과 같이 심하게 연신된 조직을 가지게 된다. 이러한 재료에 석출강화효과를 얻기 위하여 시효처리를 행하게 되면 연신된 조직이 다소 풀리면서 미세한 크롬 입자가 구리 기지 내에 석출하게 된다. 따라서 1%크롬동팁은 인탈산동에 비해 연신된 정도가 낮아지게 되는 것이다. 그리고 시효처리에 의해 생성된 크롬 석출물들은 크기가 무척 작아서 광학현미경상에서는 관찰 할 수는 없지만 투과전자현미경에서는 쉽게 관찰되는 미세석출물들이다. 이러한 상태로 입수된 팁이 본 연구를 수행하면서 450°C 열처리를 수행하게 된 것인데, Fig. 5의 결과로부터 알 수 있듯이 추가적인 시효강화가 나타나고 있다. 이러한 사실은 1%크롬동팁의 초기의 상태가 언더에이징(underaging) 상태에 있었던 것을 의미한다. Fig. 5에서 10분 열처리 시 경도가 떨어진 것은 가공경화되었던 것이 회복에 의한 것이며, 이후에는 가공경화에 의해 핵생성 자리(site)가 많기 때문에 재결정 속도가 빠르고, 석출물에 의하여 결정립성장이 억제되어 최종조직이 미세화 됨으로 경도가 높게 되고, 약 300분 이후에 결정립의 성장속도가 느려 경도감소가 지연되었다. 약 2000분 이후에 급격히 경도가 저하된 것은 Fig. 6의 (c)와 같이 입자성장과 크롬의 조대화에 기인하였다.

### 3.4 0.25%크롬동 콘택트팁

Fig. 8은 0.25%크롬동팁의 경도 변화를 인탈산동팁의 그것과 비교하여 나타낸 것이다. 약 60분에서 인탈산동팁과 유사하게 1/2이하로 경도가 감소하였다. 그리

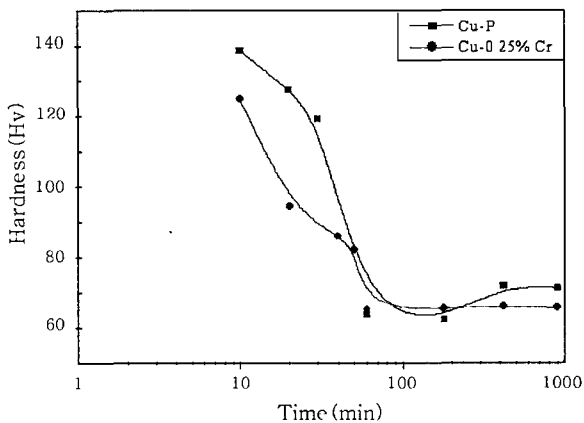


Fig. 8 Hardness variation of Cu-P and 0.25%Cr tips with heat treatment time at 450°C

고 열처리 시간을 1000분까지 연장하여도 경도는 증가하지 않고 있다. 0.25%크롬동팁도 크롬을 0.25% 함유하고 있음으로 1%크롬동팁과 유사한 경향을 보여 주어야 함에도 불구하고 전혀 다른 거동을 보여 주고 있다. 즉 크롬을 0.25% 함유하고 있음에도 불구하고 냉간가공된 재료와 동일한 거동을 보여 주고 있으며, 450°C 열처리 과정에서 시효처리에 의한 효과가 나타나지 않고 있다. 이러한 현상은 단지 한 가지 경우에만 나타날 수 있는데, 이는 초기 원자재 상태가 완전히 과시효(overaging)된 상태에서 냉간가공에 의해 경도가 확보된 경우이다. 원자재가 이미 과시효된 상태에 있기 때문에 450°C 열처리 과정에서 석출경화 효과가 나타나지 못하는 것이다. 과시효된 상태에서 냉간가공에 의해 경도가 확보되었기 때문에 인탈산동팁과 같은 거동을 보여 주고 것이다. 이를 확인하기 위하여 미세조직을 관찰하여 본 결과, Fig. 9에서 보는 바와 같이 인탈산동과 유사한 경향을 보여 주었다. Fig. 9의 a)는 원자재 상태의 미세조직 사진으로써 조직들이 연신된 것을 볼 수 있으며, b)는 열처리 후 60분 경과된 사진으로 완전 재결정된 상태임을 보여 주고 있다.

본 연구를 위해서 구매한 0.25%크롬동팁은 과시효된 상태에서 냉간가공을 심하게 하였을 것이라는 예상을 실험적으로 확인하여 보고자 하였다. 이를 위하여 원자재에 대해 온전한 시효 열처리를 행하고 이의 거동을 1%크롬동팁과 비교하여 보고자 하였다. 원자재에 대한 열처리 공정을 Fig. 10에서 보여 주고 있는데, 먼저 과시효된 상태를 제거하기 위하여 0.25%크롬팁을 1030°C에서 30분간 용체화 열처리(solution heat treatment)를 실시한 후, 450°C에서 시효 열처리(aging heat treatment)를 실시하였다. Fig. 11은 시효처리 시간에 따른 경도 변화를 보여 주는 결과인데 1000min에서 경도가 130Hv로 최대가 되었으며, 이후 2000분 까지도 그와 같은 높은 경도치가 유지되고 있다. 즉 0.25%크롬하면 사용 중에도 높은 경도치를 장시간 유지 할 수 있다는 것이다. Fig. 12는 미세조직을 관찰 한 결과인데, a)는 용체화처리를 한 다음 수냉을 한 조직이며, b)는 시효 열처리 후 2000min이

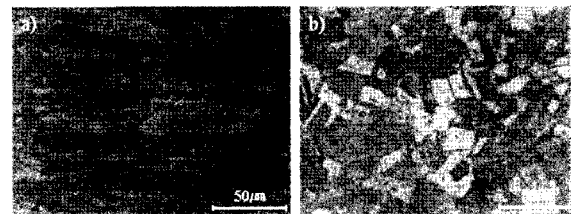


Fig. 9 Microstructure of 0.25%Cr tip: (a)as-received condition, (b)450°C/60min

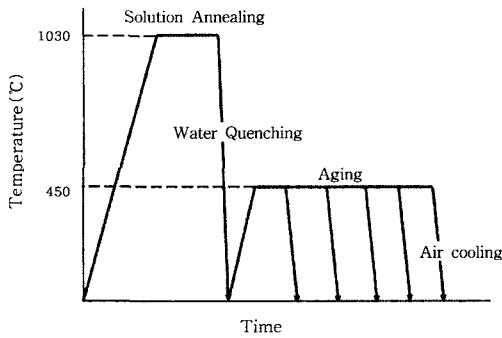


Fig. 10 Heat treatment for re-age hardening for 0.25%Cr tip

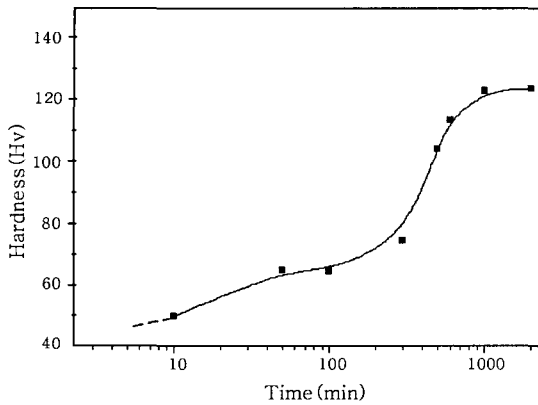


Fig. 11 Hardness variation of 0.25%Cr tip with aging time at 450°C

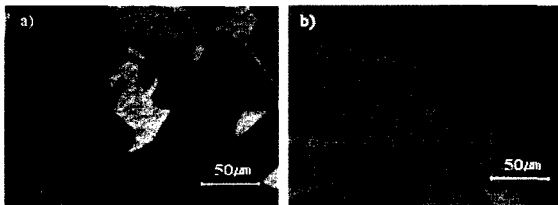


Fig. 12 Microstructure of 0.25%Cr tip for aging time after solid heat treatment: (a) after annealing treatment, (b) after aging treatment of 450°C/2,000min.

경과된 조직이다. 시효 열처리 과정에서 조직이 성장하여 조대화 되었지만, 석출효과로 인하여 경도가 증가하였던 것이다. 따라서 기존의 0.25%크롬동팁은 완전 과시효 상태에 있었기 때문에 석출경화 효과가 전혀 나타나지 않았던 것으로 판단되며, 이에 따른 새로운 제조공정이 필요한 것으로 판단되어 진다.

#### 4. 고 찰

콘택트팁은 크게 가공경화형 팁과 석출경화형 팁으로 구분할 수 있다. 인탈산동에 있어서 인(P)은 탈산을 목적으로 첨가되는 원소인데, 인(P)의 고용도가 높기 때

문에 인탈산동팁 같은 경우는 가공경화가 유일한 강화기구이다. 따라서 인탈산동팁은 가공경화형 팁인 것이다. 크롬동의 경우는 가공경화와 석출경화를 동시에 구현할 수 있는 재료이다. 크롬의 주된 역할이 시효처리에 의해 석출강화효과를 얻기 위한 것이며, 시효처리과정에서 가공경화효과는 일부 소멸되기 때문에 크롬을 함유하고 있는 팁은 석출경화형 팁이라고 할 수 있다. 그러나 제조 과정에서 과시효 상태에서 가공에 의해 경도가 상승하였다면, 비록 크롬을 함유하고 있다고 하더라도 가공경화형 팁이라고 하여야 할 것이다.

가공경화형 팁은 450°C에서 1시간 이내에 미세조직이 재결정되어 경도가 급격히 저하된다는 것을 확인 하였다. 이러한 가공경화형 팁에는 인탈산동팁과 구배상태의 0.25%크롬동팁이 속한다. 한편 석출경화형 팁은 장시간 고온에 노출되어 있어도 경도가 저하하지 않으며, 미세조직의 변화도 상당한 시간 동안 지연된다. 만약 초기 상태가 언더에이징 상태라면 사용 중에 추가적인 석출경화에 의해 경도가 향상 될 수도 있는 것이다. 그러한 현상이 Fig. 5의 1%크롬동팁에서 나타나고 있음을 보여 주었다. 이러한 석출경화형 팁에는 1%크롬동팁과 재 시효처리 한 0.25%크롬동팁이 속한다.

현재 국내 중공업사에서 자체 운용되고 있는 팁 선별 기준은 초기 입고 상태에서의 경도 또는 크롬함량 등을 고려하고 있는데, 콘택트팁이 사용되는 환경이 고온이라는 것을 고려한다면 초기 경도나 크롬함량은 재고 해볼 필요가 있다. 이는 앞에서 보여 주었던듯이 크롬을 기준치 이상으로 함유한 0.25%크롬동팁의 경우, 고온에서의 거동이 인탈산동팁과 동일하였기 때문이다. 따라서 보다 합리적인 기준을 제시한다면 가공경화형 팁과 석출경화형 팁으로 구분하는 방안이다. 그리고 이들을 구분하는 방법은 일정시간 고온에서 열처리 하여 경도 유지 여부를 확인하는 것이다. 단순히 초기 경도치만을 비교해서는 이들을 구분할 수 없다는 것을 본 연구에서 보여 주었다.

Fig. 14는 초기 경도와 450°C에서 1시간 열처리 후의 경도를 비교한 것이다. 이 결과에서 보듯이, 초기 경도는 4가지 팁이 모두 120Hv 조건을 만족하고 있지만, 450°C/1시간 조건에서는 석출경화형팁만이 상기한 조건을 만족하고 있다. 따라서 사용환경을 고려한다면 '450°C/1시간 열처리 후에 일정 수준 이상의 경도(예를 들면 120Hv 이상)를 유지하여야 한다'는 기준이 보다 합리적이라고 하겠다.

상기한 기준을 만족한다고 하더라도 팁의 수명에는 크게 차이가 있을 수 있다. 왜냐하면 경도와 내마모성 관계가 명확하게 규명되어 있지 않고, 내마모성을 결정하는 인자가 경도 이외에도 다른 인자가 있을 수 있기 때문이다. 예를 들면 1%크롬동팁에서 보여 준 조대하

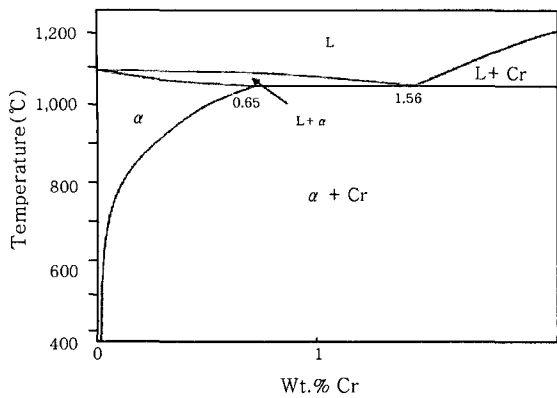


Fig. 13 Cu-Cr phase diagram

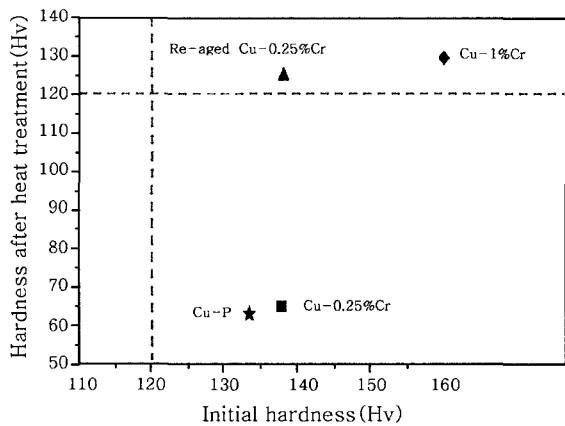


Fig. 14 Relationship between initial hardness and that after heat treatment(450°C/1hr)

크롬입자와 같은 것이다. Fig. 13은 구리-크롬의 평형 상태도인데, 여기서 보듯이 크롬함량이 0.65%이상이면 정출물로서 크롬 입자가 생성된다는 것을 알 수 있다. 1%크롬동팁에서는 이러한 석출물들이 생성되어 있는데, 그러한 생성물을 Fig. 7에서 보여 주었다. 이러한 석출물들은 조대하기 때문에 경도와 직접적인 관계는 없지만 콘택트팁의 수명과는 어떠한 관계가 있을 것으로 예측된다. 조대한 크롬 석출물은 경도가 매우 높기 때문에 이러한 상이 기지 내에 분포되어 있으면 내마모성이 크게 향상될 것으로 예측되기 때문이다. 그러므로 콘택트팁의 평가 기준은 실제 사용 환경에서 내마모성을 실측한 실험 결과로부터 유추되어야 할 것이다.

#### 4. 결 론

GMA용접 중 콘택트팁은 아크열에 의해 고온으로 가열되는데, 용접전류가 250A인 조건에서 최고 가열온도는 약 450°C정도임을 확인하였다. 이러한 고온환경에서 장시간 노출되면 콘택트팁의 미세조직과 경도는 크게 변화하는데, 변화 정도는 강화기구에 따라 현저한

차이를 보여 주었다.

1) 가공경화형 팁인 인탈산동팁은 450°C에서 1시간 이내에 재결정으로 인해 가공경화 효과가 완전히 소멸되었다.

2) 크롬동계 팁은 적절한 시효처리 여부에 따라 가공경화형 또는 석출경화형으로 구분된다.

3) 석출경화형인 크롬동팁은 크롬함량에 관계없이 450°C에서 장시간 유지하여도 경도저하가 발생하지 않는다.

4) 크롬을 함유한 크롬동팁이라고 하더라도 과시효된 상태에 있으면, 인탈산동팁과 동일한 거동을 보여 주었기 때문에 가공경화형으로 구분되었다.

5) 가공경화형과 석출경화형을 구분함에 있어 '450°C/1시간 열처리 120Hv이상의 경도'가 합리적인 기준으로 제시되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 신뢰성 기반구축사업의 일환으로 수행되었기에 산업자원부 및 산업기술평가원 관계자들에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Hee Jin Kim, Nam-Hoon Kim, Hoi-Soo Ryoo, and Jin-Hyun Koh: Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, Journal of KWS, 21-7(2003) 9-17 (in Korean).
2. J. Villafuerte, J. 1999. Understanding contact tip longevity for gas metal arc welding: Welding Journal 78(12): 29-35
3. J. F. Rudy, D. C. Brown and W. G. Groth: Study of current contact tubes for gas metal arc welding. Welding Research Supplement, 8(1996). p374-378
4. T. Yamada and O Tanaka: Fluctuation of the Wire Feeding Rate in Gas Metal Arc Welding. Welding Journal, 9(1987), 35-42
5. V. G. Degtyarev, M. P. Novikov and N. M. Voropal: Improving the working condition of the electrode wire-contact tip pair. Paton Welding Journal, 1991, 3(4). p290-294
6. G. Adam, T. A. Siewert, T. P. Quinn and D. P. Vigliotti: Contact tube temperature during GMAW, Welding Journal, 80(2001), 37
7. T. P. Quinn, R. B. Madigan, M. A. Mornis and T. A. Siewert: Contact tube wear detection in gas metal arc welding, Welding Journal, 74(1995), 115-s
8. R. DeNale and W. E. Lukens: Increasing contact tube life during titanium gas metal arc welding, Welding Journal, 65(1986), 28
9. H. Shah: Calculating the total cost of GMAW gun ownership, welding Journal, 79, 10(2000), 49
10. J. H. Joo: Private communication