

特輯 : 저항 점용접의 재료 및 장비 개발 동향

점 용접 전극의 재활용

최병길

Recycling of Resistance Spot Electroder

Byung-Kil Choi



최병길/대전산업대학교
신소재공학부/1947년생
/용접기기, 용접공정분
야

1. 저항 점 용접용 전극의 종류 및 수명

저항 점 용접 전극은 자동차 조립산업등에서 널리 쓰이고 있으며 산업현장에서 tip, cap, cap tip등의 이름으로 지칭되기도 한다. 전극은 형상에 따라 원추형, 돔형, 편심형, 평면형, 포인트형, 구면형 등으로 나뉘어지며 또한 직경에 따라 13mm, 16mm, 19mm 및 22mm의 전극으로 분류될 수 있다.

한편 전극을 통하여 대단히 높은 용접전류(연강 1mm두께의 점 용접시 7000A)가 흐르며 가압이 이

Table 1 전극의 형상

형식	형상	외경치수
원추형(C형)		13φ, 16φ 19φ, 22φ
돔형(D형)		
편심형(E형)		
평면형(F형)		
포인트형(P형)		
구면형(R형)		

루어 지기 때문에 (연강의 경우 5000N), 전극재료는 높은 전기전도도, 내마모성, 500°C 정도의 고온에서 전극재료의 안정적인 거동이 요구되고 있다. 이러한 요구때문에 크롬동, 크롬지르코늄동, 베릴륨동등의 동합금 재료가 사용되고 있으며 최근에는 알루미늄나 분산강화동이나 은-동합금등이 전극재료로 개발되어 있다.

Table 2 전극재료의 특성

	합금계	경도 (HRB)	도전율 (%)	인장강도 (Kg/mm ²)	연화온도 (°C)
크롬동	Cr 0.5~1.0	>72	>75	>42	460
	Cr 0.5~1.0				
크롬지르코늄동	Zr 0.2 Ni 1.5	>70	>75	>43	480
베릴륨동	Be 0.3~0.5	>90	>45	>55	460

전극의 생산공정은 합금용해공정, billet압출공정, 용체화 공정, 산세 및 인발공정, 절단 및 단조공정 등으로 이루어져 있다. 전극의 생산공정은 여러단계의 공정을 거치므로 각 공정마다 엄밀한 품질관리가 요구되고 있으며 또한 대부분의 공정이 에너지를 많이 소비하는 것이 특색이다.

자동차용 강판을 점 용접하는 경우 2,000~10,000 타점을 용접하면 전극에 대한 조치가 요구되고 있다.

조치중 첫째는 전극을 신품으로 교체하는 것이며 둘째는 전극사용 횟수에 따라 용접전류를 점차 증가시켜 사용하는 것이며 셋째는 전극 dressing이라는 공정을 거쳐 원래의 형상으로 재생하는 것이다. 이 중에서 첫째 조치는 이미 수명이 다된 마모전극을 폐기처리하는 조치와 다시 재 활용하는 조치로 나뉘어 진다. 단조 die를 이용하여 마모전극을 냉간단조하면 원래의 전극 형상을 회복하고 또한 마모전극의 끝에 형성된 유용한 합금층이 재생전극(재활용 전극)의 수명에 기여하는 바 전극의 재생활용기술은 우리가 주목해야할 기술이다. 본 재생기술은 3절에서 자세하게 언급되고 있다.

2. 전극의 연화

전극은 점 용접의 타점수 증가에 따라 전극 끝의 모양이 달라지는 바, 즉 mushroom 현상으로 알려진 현상이 발생한다. 아연도금 강판을 점 용접하는 경우 처음 100타점까지는 전극의 동과 도금층이 합금화하여 돌기를 형성한다. 그 후 계속하여 점 용접을 하면 전극 끝의 온도가 올라가며 계속되는 가압작용으로 전극 끝이 소성변형을 하게된다. 이에따라 전극끝의 지름이 넓어지며 마치 버섯형상으로까지 소성 변형현상 즉 mushroom현상이 발생한다.

일단 용접부와 접촉하는 전극의 지름이 넓어지면 통전경로가 넓어진다. 즉 접촉면적이 넓어지고 이에따라 너깃을 형성하는데 필요한 에너지가 분산되며 그 결과로 너깃 직경이 작아지게 된다.

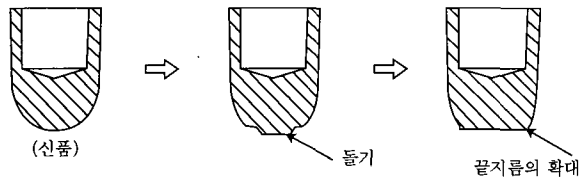


Fig. 1 연속타점에 의한 전극 끝 모양의 변천

점 용접중 온도분포는 너깃이 형성되는 부위에서 가장 높고 다음으로 전극과 모재가 접촉하는 부위가 높다. 전극과 모재 사이에서 발생하는 저항 발열과 일부 모재에서 발생하는 열을 전극을 통하여 계 밖으로 배출된다. 즉 전극 끝으로부터 10~20mm까지 와 닿는 냉각수에 의해 전극사이에 발생한 총 열량의 60% 이상이 밖으로 빠져 나갈수 있다.

이 때문에 전극끝의 온도는 500°C 이상으로 올라갈수 있으며 이 온도에서는 전극의 연화가 일어난다.

전극의 연화는 보통 400~600°C 사이에서 일어나는 바 국내에서 많이 쓰이는 Cu-Cr (RWMA 표시

class 2)는 500°C에서 급격히 경도가 떨어지고 있다. 경도가 떨어지면 소성변형에 대한 저항이 작아지기 때문에 앞에서 기술한 mushroom 현상이 발생한다. 이러한 이유로 전극의 냉각과 전극 끝의 형상이 전극 수명에 매우 큰 영향을 미친다. 앞서 전극 끝과 수냉 통로 끝 사이의 거리를 10mm 정도로 짧게 유지하는 것은 냉각효과를 높이려는데 목적이 있다.

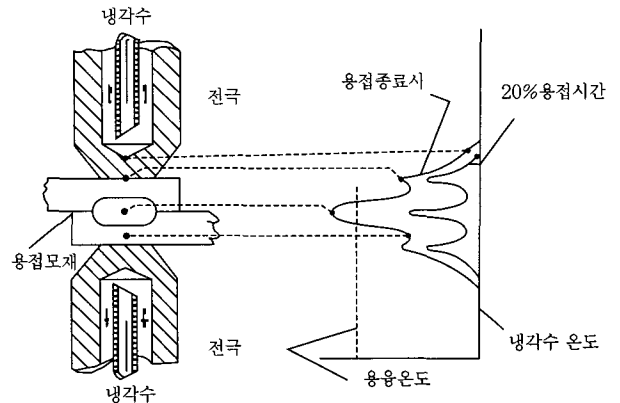


Fig. 2 점 용접시 모재와 전극의 온도분포

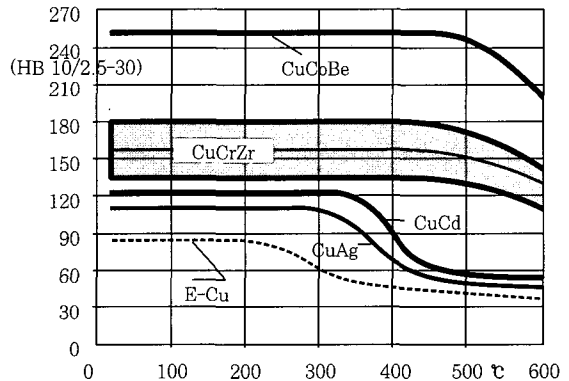


Fig. 3 Annealing 처리후 온도상승에 따른 경도

3. 전극 단조 재생기술과 특징

전극 단조 재생기술은 이미 1980년대에 독일인 Kaeseler에 의해 특허¹⁾등록된 기술이다. 신품 전극을 생산하는 공정으로서 인발봉을 절삭가공하는 공정이 있고 또 다른 방법으로서 인발 봉을 적당한 크기로 절단한 후 냉간 단조공정을 거쳐 전극형상을 만들어 내는 방법이 있는바 냉간 가공공정의 전극이 기계적인 절삭가공 공정의 전극보다 수명이 길다는 것이 경험적으로 알려져 있었다. 이러한 경험을 이미 마모된 폐 전극에 활용할 경우에도 전극수명이 연장될것이라는 기대에 따라 폐전극 단조 재생 기술을 특허로 등록하게 되었다.(US patent 4,682,487-1987) 단조 재생기술은 6단계의 공정을 거치게 되어있다.

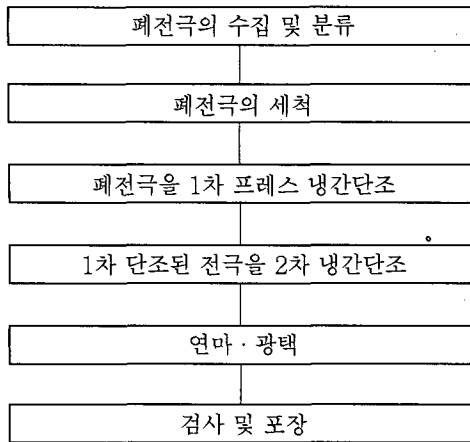


Fig. 4 전극 단조재생시의 공정

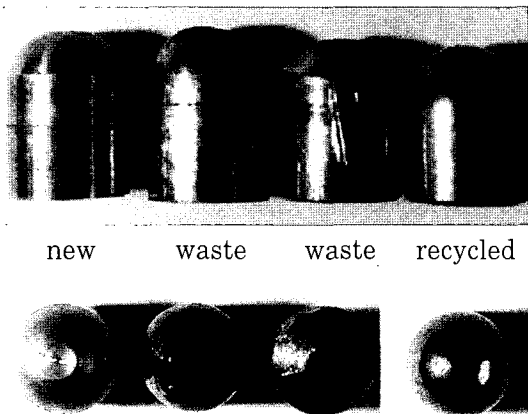


Fig. 5 신제품전극, 폐전극, 재생전극

단조 재생공정에서 폐 전극 형상과 재생전극의 형상이 유사하면 2차 냉간단조는 줄일수 있다.

전극 단조재생은 여러 가지 장점과 특징을 지니고 있다.

첫째, 오염 물질을 줄임

구리와 크롬은 대기중 또는 수질을 통하여 방치될 경우 중금속 오염원이 되는데, 폐전극 2백만개가 방치될 경우 약 50톤에 이르는 중금속 오염원이 발생함.

둘째, 고철이용 전기 제강시 원가 절감

폐전극이 자동차 판재와 함께 고철재료로 섞일 경우 전기로 제강공정에서 화학조성 비율을 맞추기 위하여 동이나 크롬은 제거하여야 하는데, 처음부터 섞이지 않을 경우 제강원가 절감에 도움이 됨.

셋째, 에너지 절약

전극 1개를 재생할 경우 0.15kwh전력이 소요되는바 신제품전극의 경우는 0.8kwh의 전력이 추가적으로 소요된다. 연간 250만개를 국내에서 재생사용할 경우 연간 2백만 kwh의 전력을 절약할수 있음.

넷째, 원가 절감 효과

재생 전극은 신제품전극 가격의 70~50%정도로 가격이 싸기 때문에 그만큼 원가 절감 효과를 가져 올수 있음.

다섯째, 전극 수명향상

단조재생전극은 전극 표면에 형성된 금속산화물 또는 모재금속의 확산으로 말미암아 전극수명이 향상됨. 본 특징은 4절에 자세히 기술되어 있음. 전극수명향상으로 생산 라인에서 전극교환을 위한 stop-over시간을 줄임으로서 추가적인 원가절감도 가능.

4. 전극 수명 향상

1) 타점수와 팁단면적의 변화

재생 전극의 수명을 평가하기 위하여 우선 예비 실험으로 전극의 접촉 면적과 너깃 직경에 대한 실험을 수행하였다. 용접모재는 5000계열의 알루미늄합금(일본 Sumitomo사 GC45)로서 4.7-Mg 0.36Cu-0.16Mn의 화학조성을 갖고 있으며 두께는 1mm이다. 용접 전류는 23KA, 용접통전시간은 6cycle, 가압력은 2500N 용접 타점간 주기는 0.5초 이었다.

50타점마다 전극 단면적을 측정하고 인장전단 시험용 시료를 채취하였다. 전극 단면적은 탄소먹지를 두꺼운 종이 상하에 겹치도록 하고 전류를 가하지 않고 압력을 가하므로써 전극 접촉면적이 종이에 프린트 되도록 하였다.

그림 6.에서 볼수 있는 바와 같이 타점초기에는 전극 끝 단면적보다 너깃직경이 약간 크게 나타나고 있으며 그 이유는 전류밀도가 충분히 높아서 너깃이 형성되는 접촉면에 충분한 용융열이 생성되고 그 결과 너깃이 전극의 끝 단면적 이상으로 형성되는데 기인한다.

상하 전극의 접촉면적은 타점의 증가와 더불어 넓어지고 있으며 이러한 현상은 상하 전극 모두에게서 나타난다. 반면에 너깃 직경은 700타점을 전후하여 점차 감소하는바 전류밀도 감소에 따라 너깃 형성에 필요한 에너지 밀도가 작아지며 결국 너깃 직경이 작아진다.

2) 전극 수명 시험

전극수명을 결정하는 시험규격이 제정되어 있지 못하고 연구자나 엔지니어가 자의적으로 전극수명 시험을 하여 왔으나 최근에 그 필요성이 강력히 인식되어 IIW에서 전극수명시험에 관한 제안을 97년에 공표 하였다

(국제용접협회(IIW)제안(IIW Doc III-1088-97)²⁾). IIW제안은 강과 알루미늄 합금을 모재로 하는 점 용접시 전극의 수명평가를 하는 절차와 평가 기준을

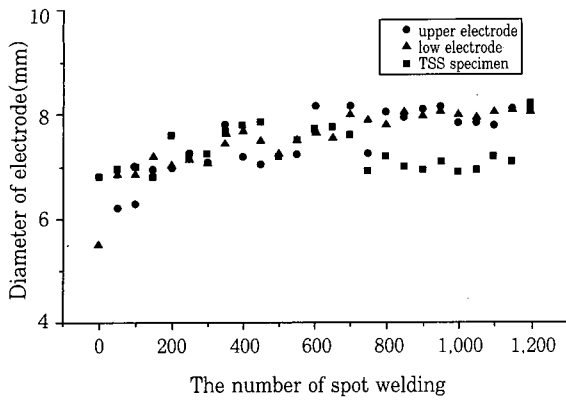


Fig. 6 타점수 증가에 따른 전극 접촉면적 및 너짓 직경의 변화

제시하고 있다.

IIW Doc III-1088에 의하면 초기 너짓직경의 $5\sqrt{t}$ 가 되도록 용접조건을 설정하고 수명판단 조건으로 너짓 직경이 $3.5\sqrt{t}$ 가 되는 기준을 제시하고 있다. 또 다른 조건으로는 인장 전단강도가 초기치의 70%이하가 되는 기준을 제시하고 있다.

시험절차도 강판과 알루미늄 합금판 별로 정하여 지는바, 알루미늄 합금인 경우 그림 7에서 보듯이 192 타점을 용접 할수 있는 알루미늄 합금판 연속용접 시편에 42타점의 용접을 하고 벗김시험이나 인장전단 시험(tensile shear test)에 사용할수 있는 시편에 8 타점의 용접을 하도록 되어있다. 192타점을 용접할수 있는 시편은 30mm 간격으로 용접을 하도록 되어 있다.

그림 8은 예비시험에 사용된 동일종류의 5000계열 알루미늄 합금을 용접모재로 선택하여 IIW Doc III-1088-97에 따라 전극수명 시험을 수행한 결과이다.³⁾

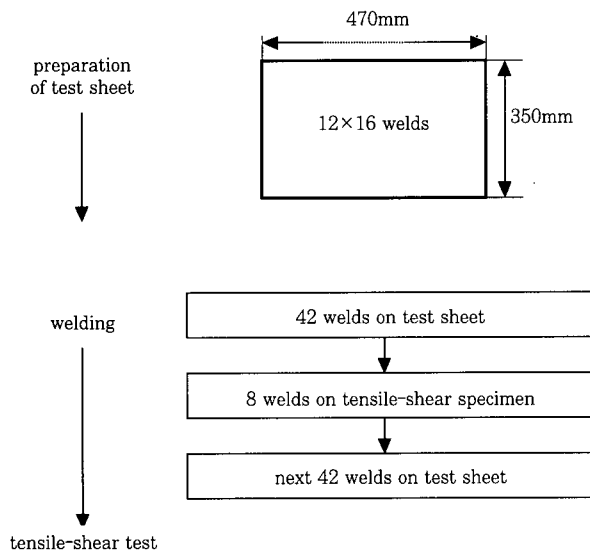


Fig. 7 전극 수명시험 절차

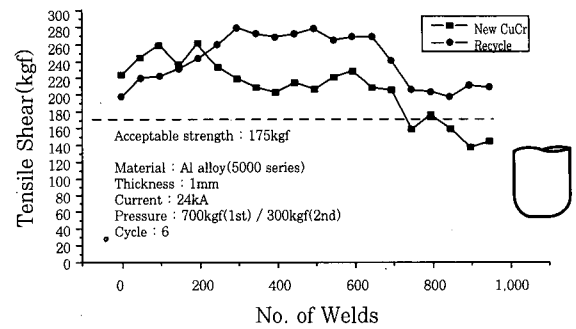


Fig. 8 Al 합금판재를 이용한 신폼전극과 재생전극의 활용

그림 8에서 신폼 전극은 초기타점에서 약간 높은 강도를 유지하다가 200타점 이후는 재생전극보다 낮은 강도를 보이고 있다. 700타점이후로 인장전단강도가 현저하게 줄어드는 것을 신폼전극과 재생전극 모두에서 관찰할수 있다. 그러나 단조재생 전극의 경우 인장전단 시험시 1,000타점까지 초기 인장강도의 70% 이하로는 떨어지지 않을 것으로 미루어 단조재생 전극 수명이 신폼전극에 비하여 300타점 이상으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 단조재생전극의 수명증가는 전극 끝에 형성된 Cu-Al의 공정조직에 기인하는 것으로 판단된다. 그림 9는 전극 끝에 형성된 Cu와 Al의 혼합물, Cu-Al의 공정조직, Cu-Cr의 합금조직을 보여 주고 있다.

Cu-Al의 공정조직의 발생 메카니즘은 Kumagai 등에 의해 제안되어 있다.⁴⁾ 즉 알루미늄 점 용접시 전극 끝에 알루미늄이 부착하면 용접에 의한 전극의 온도상승에 의해 전극중 동원자가 부착된 알루미늄으로 확산이 이루어져 저융점의 공정조직이 생성된다. 이러한 공정조직은 다음 타점 용접시 모재로 이행되어 전극표면은 불규칙한 홈이 파이게 된다. 실제로 전극수명시의 전극표면은 그림에서 보는 바와 같이 불규칙한 홈이 관찰되며 5000계열 알루미늄 합금에서처럼 Mg이 존재하면 450°C에서 용융 되는 공정조직이 발생할 수 있다. 홈 내부에는 $CuAl_2$ 공정조직이 존재하는 것으로 확인되고 있다.

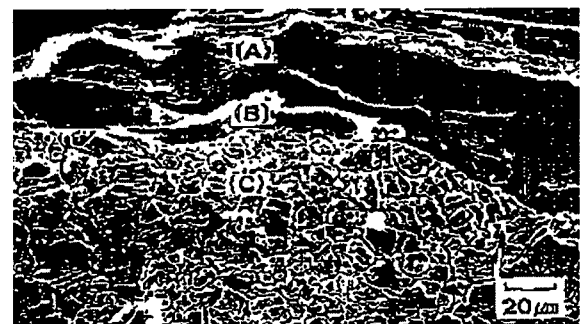


Fig. 9 Al 점용접후 전극 끝에 형성된 Cu-Al의 조직

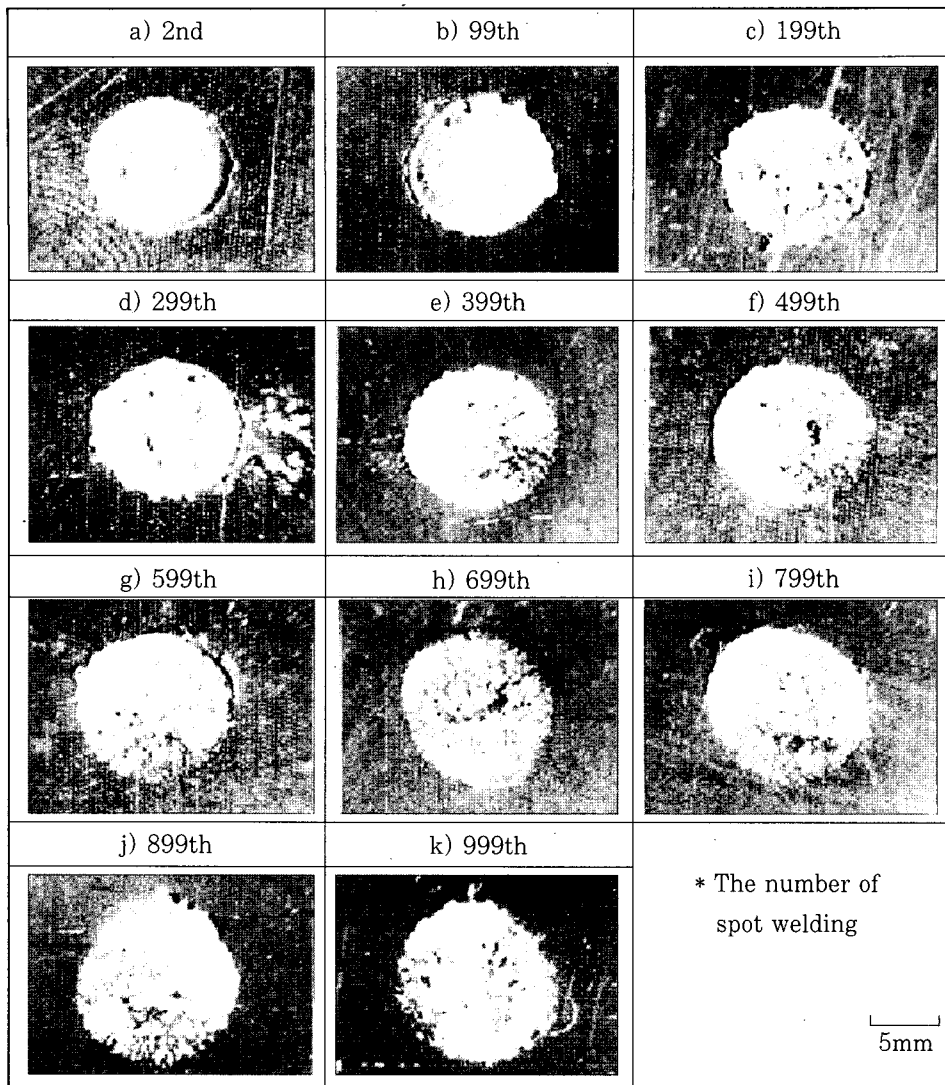


Fig. 10 Cu-Cr 전극의 수명시험시 전극 표면의 열화.(숫자는 타점수를 나타냄)

4. 결 언

재생전극의 활용은 자원 재활용에 의한 환경오염원을 줄일수 있으며 원가절감에도 기여한다. 원가절감은 1차적으로 자동차 조립업체에 수혜가 돌아가며 부차적으로 전력 절감을 통하여 국가사회에도 이바지 한다. 또한 재생전극의 수명이 연장됨으로 생산라인에서 특히 알루미늄 합금의 조립라인에서 전극의 교환에 따른 stop-over시간을 줄일수 있다. 앞으로 재생전극의 활용의 유인책이 필요한 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

1. U.S. Patent 4,682,487-1987 Method for reconditioning spot welding electrodes-

W.Kaeseler

2. IIW Doc III-1088-97, Procedure for the evaluation of the life of spot welding electrodes using constant machine settings
 3. Welding Conference Proceeding - Technology advancements and new Industrial Application in Welding (Taipei, sept 1998) - Evaluation of electrode life and lobe curve for aluminum alloy 5000 Series, Byung-Kil Choi, Byung-Hun Lee and Hee-Shin Kang pp 375.
 4. M.Kumagai의 3인, Star electrode of resistance spot welding of aluminum alloy sheet, Sumitomo Light Metal Technical Reports. Vol 35. No 3 & 4 Oct. 1994, 1929~34