

(Ag-10 % Ni)/Cu 접점재의 냉간압연접합

김종헌* · 김성일* · 박상용** · 유연철*

(1997년 1월 25일 접수)

Cold Roll Bonding of (Ag-10% Ni)/Cu Clad Metals

Jong-Heon Kim, Sung-Il Kim, Sang-Yong Park and Yeon-Chul Yoo

Abstract

(Ag-10 % Ni)/Cu clad metals for electric contact switch were fabricated by cold-roll bonding process. 2 or 3 passes of cold-rolling was carried out for each process to investigate the effect of the rolling passes on the bonding property. The effect of the annealing temperature of copper before the cold-roll bonding on the bond strength was also studied. The specimen bonded with copper annealed below 300 °C before roll bonding showed good bond strength. This is because high stored energy in copper promoted the short range diffusion and the grain refinement of copper by the static recrystallization increased the degree of the interfacial coherency. The maximum peel strength of clad metals bonded with Cu annealed below 300 °C was 120 N.

Key Words : Cold Roll Bonding, Clad, Bond Strength, Strain-Energy Activated Diffusion

1. 서 론

압연접합은 압연 롤에서 높은 접촉압력을 가하여 두 재료를 상온 또는 열간에서 고상접합시키는 방법이다.⁽¹⁻⁴⁾ 압연접합이 용접·브레이징·땀납 등의 접합과 차이가 나는 것은 계면에 다른 재료를 삽입하지 않고 접합 중에도 액상이 생기지 않는다는 것이다. 이 압연접합은 작은 폭의 판재 제품생산에 적합하여 전기 접점재 제조에 많이 응용되고 있다.

냉간 압연접합시, 특히 이종금속을 접합할 때 중요한 것은 항복강도와 연신율의 차이가 작도록 하는 것이다. 냉간 압연시 두 재료의 연신율 차이가 크면 많은 변형이 요구되는 1 패스압연접합의 경우 접합이 어렵기 때문에, 두 이종

(異種) 재료의 변형량 차이를 줄이기 위해 압연 롤의 회전 속도를 달리하여 압연하는 CSCR (cross shear cold rolling)법 등 다양한 연구⁽⁵⁻⁶⁾가 이루어져 왔다. 그러나 변형량은 금속의 조직과 상관관계가 있기 때문에 이 조직을 제어해서 설비의 변경없이 용이하게 접합성을 향상시킬 수도 있을 것이다. 특히 냉간 압연접합 또는 냉간 압연 클래딩(cladding)시 두 종류의 판재 금속중 대재(base metal)의 조직이 접합에 미치는 영향에 대해서는 기술의 노하우(know-how)로 알려져 있어 구체적인 발표가 거의 없는 실정이다. 더욱이 전기 접점재로 사용되고 있는 Ag-CdO/Cu 시스템은 CdO의 환경규제가 심해서 CdO를 Ag-Ni 합금으로 대체해야 하는 문제점도 있다. 따라서 본 연구에서는 Ag-Ni/Cu 접점재 제조시 대재(base metal)

* 仁荷大學校 工科大学 金屬工學科
** (株) 喜星金屬

의 압연전 열처리 온도에 따른 조직변화가 접합성에 미치는 영향을 조사하고 이를 압연 패스수와 연관시킴으로써 최적의 접합조건을 구명하고자 한다.

2. 실험방법

(1) 시편

압연접합에 사용된 대재(base metal) 시편은 두께 2.5 mm 로 냉간압연한 99.9 % 전기동(銅) 판재를 Fig. 1과 같이 폭 50 mm로 절단한 후 홈은 폭 7 mm 및 깊이 1 mm로 가공하였다. 접점재는 Ag-10 wt.% Ni 소결재를 두께 1 mm로 냉간압연한 후 폭 7 mm로 절단하여 사용하였다. 대재(base metal)인 동(銅)의 물성변화에 따른 압연 접합성을 조사하기 위해 압연전 동(銅)을 각각 300 °C, 500 °C, 800 °C로 Ar 분위기에서 1시간 어닐링하여 압연접합하였으며 이들을 어닐링하지 않은 동으로 압연접합한 것과 비교하였다. 접점재인 Ag-Ni는 800°C, Ar 분위기에서 2시간 동안 완전 어닐링하여 사용하였다. 이때의 경도치는 동(銅)이 각각 125, 97, 62, 55 Hv 이었으며 Ag-Ni는 53 Hv 이었다. 이렇게 열처리된 시편들은 일정한 조도를 얻고 표면의 산화피막을 제거하기 위해 기계적으로 연마를 한 후 다시 산세처리를 하였다. 산세처리는 동(銅)의 경우 10% H₂SO₄에서 10분, Ag-Ni는 3.5% HNO₃에서 1분간 하였다. 산세처리후 표면의 산성분을 제거하기 위해 아세톤으로 다시 세척하여 최대한 청정도를 유지하여 바로 압연하였다.

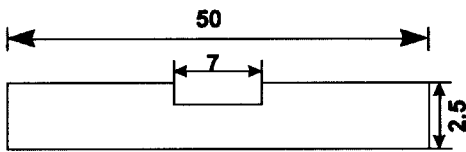


Fig. 1 Illustration of base metal shape for cold-roll bonding

(2) 압연접합 및 특성평가

압연전 동(銅)의 어닐링 온도에 따른 조직변화가 압하율 및 연신율에 미치는 영향을 조사하기 위해 50톤 용량 1단 압연기에서 동일조건으로 압연하였다. 또한 압연패스수에 따른 접합성을 보기 위해 2 패스 및 3 패스로 나누어 실험하였는데 이때 열처리 정도에 따른 압하율의 변화를 관찰하기 위해 압하중을 고정시켜 압연하였다. 압연접합

공정이 끝난 후 재료의 경화점도를 감소시키고 동시에 계면강도를 증가시킬 목적으로 300°C, Ar 분위기에서 1 시간 동안 확산 열처리한 후 0.6 mm의 두께로 치수압연하였다. 이들 압연공정은 Fig. 2에 나타내었다. 접점재에 있어서 중요한 물성은 표면 경도와 압연접합 계면강도이다. 그런데 시편의 크기나 두께등 사용용도에 따른 치수 및 형상이 매우 다양하기 때문에 접점재 접합강도의 표준적인 평가방법이 확립되어 있지 않으며 생산자의 필요성에 따른 자체적인 평가가 주로 이루어지고 있는 실정이다. 본 실험에서는 접합된 시편을 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 접점재(Ag-Ni)를 인장시험기 치구에 물리고 대재(base metal)인 동(銅)이 인장축에 수직하게 떨어지는데(peel test) 필요한 하중의 평균값으로서 접합강도를 평가하였다. 또 실험조건에 따른 표면경도 변화를 조사하여 접점재로써 적당한 경도값을 갖는지 조사하였으며 압연조건 및 어닐링 온도에 따른 금속조직 및 접점재의 확산 열처리시 조직을 관찰하여 이들과 접합강도와와의 관계를 구명하였다.

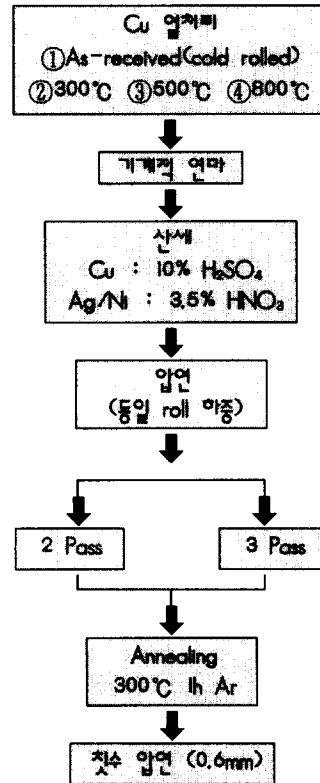


Fig. 2 Flow chart of cold-roll bonding process for Cu/(Ag-Ni) clad metals

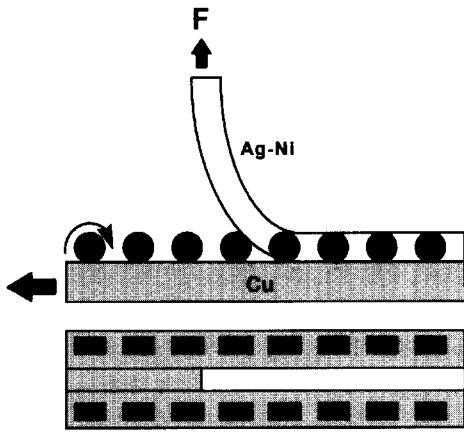


Fig. 3 Schematic diagram of the peel test for clad metal

3. 실험 결과

(1) 접합계면조직

동(銅)의 미세조직 차이가 압연접합성에 미치는 영향을 구명하기 위해 압연 접합전에 동(銅)을 300℃, 500℃, 800℃로 Ar 분위기에서 1시간 어닐링하였으며 그때의 조직과 경도치를 열처리하지 않은 시편과 함께 Fig. 4에 나타내었다. (a)의 경우 어닐링 하지 않은 상태로써 표면 결정립은 조대하게 관찰되나 단면의 조직을 보면 잉고트를

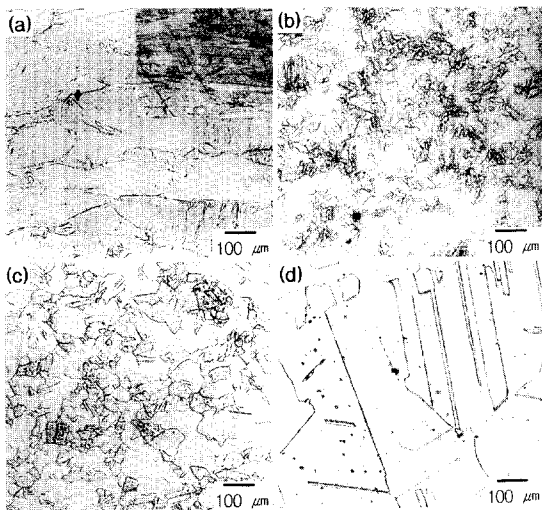


Fig. 4 Microstructures of (a) as-received copper and the copper annealed at (b) 300, (c) 500 and (d) 800℃ before cold-roll bonding

냉간 압연해서 매우 심하게 변형된 조직임을 알 수 있다. 300℃에서 어닐링한 (b)의 경우 (a)의 조직이 재결정이 상당량 진행되어서 40~50 μm의 미세한 결정립을 보이고 있고 500℃의 경우 재결정이 완료되어서 60~80 μm의 (b)보다 약간 큰 결정립을 나타내고 있다. 또한 800℃에서 어닐링한 동(銅)의 조직인 (d)는 상당한 결정립성장이 이루어져서 300~500 μm의 조대한 결정립을 보이고 있다. 이러한 상태의 동(銅)을 Ag-Ni와 3 패스로 압연접합한 시편의 계면조직을 Fig. 5에 나타내었다. 압연전 초기 조직의 영향에 의해 압연접합후에 거의 같은 양상의 동(銅)조직이 얻어졌으며 계면상태는 사진상으로 결합부위가 양호하게 접합되어 있음을 알 수 있었다.

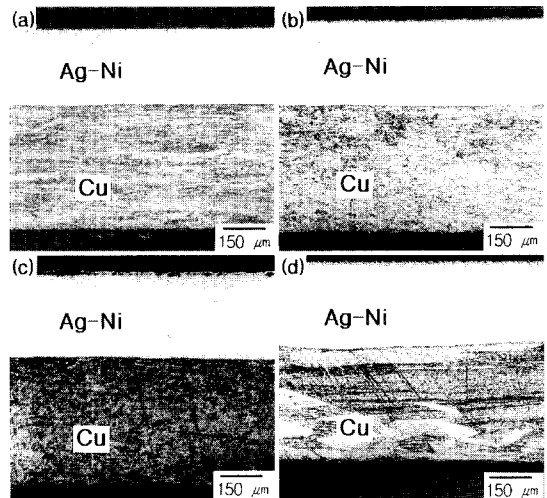


Fig. 5 Optical micrographs of the roll bonded Ag-Ni with (a) as-received copper and annealed copper at (b) 300, (c) 500, and (d) 800℃ by 3 passes rolling

또한 접합된 시편의 모서리 부위 역시 광학 사진상(Fig. 6)으로 양호한 접합상태를 보여 주고 있으며 (d)는 연화된 동(銅) 때문에 계면의 형상이 심하게 굴곡져 있음을 나타내고 있다.

그러나 압연접합후에는 재료가 상당히 경화되었기 때문에 최종가공이나 제품을 제조하기 위해 연성을 향상시키는 동시에 계면강도를 높일 목적으로 확산 열처리를 실시하였다. 이때 확산 열처리는 계면에서 두 재료간의 상대확산속도차이에 의한 기공이 형성(Kirkendall effect)될 수 있기 때문에 일반적으로 400℃ 이하에서 행해지는 것으로 보고 되어 있으며⁽⁷⁾ 본 실험에서는 300℃에서 하였다. Fig. 7은 압연전 각기 다른 온도에서 어닐링한 동(銅)을

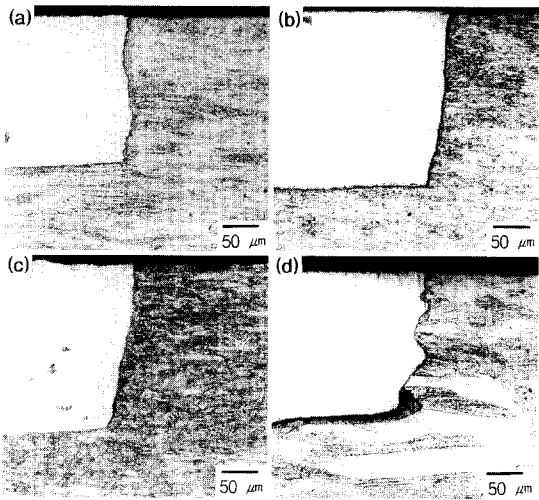


Fig. 6 Optical microstructures of the corner of Cu/Ag-Ni clad metals shown in Fig. 5. The microstructures of Ag-Ni bonded with (a) as-received copper and annealed copper at (b) 300, (c) 500 and (d) 800 °C

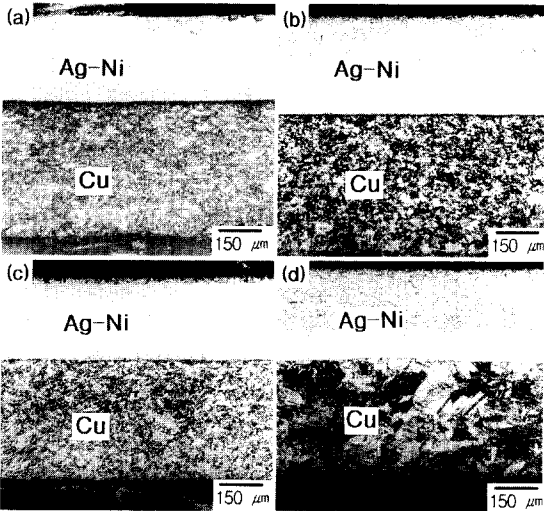


Fig. 7 Optical micrographs of roll bonded Ag-Ni with (a) as-received copper and annealed copper at (b) 300, (c) 500 and (d) 800 °C after the heat treatment at 300 °C for 1 hour

Ag-Ni와 3 패스로 압연접합한 후 300°C Ar 분위기에서 1시간 동안 확산열처리한 시편의 계면사진이다. 어닐링하지 않은 동(銅)을 압연접합하여 확산 열처리한 시편(a)을 보면 초기조직에 비해 동(銅)의 결정립이 약 15~20 μm로 매우 미세해져 있다. 이는 상당한 가공을 받은 시작재

의 동(銅)이 압연접합 과정에서 재가공을 받아 내부에 큰 변형 에너지가 축적되었기 때문에 확산 열처리온도가 비교적 낮지만 많은 정적재결정(static recrystallization)립이 빠른 속도로 핵생성하여 미세한 결정립이 얻어진 것이다. 동(銅)을 각각 300°C, 500°C로 어닐링하여 압연접합한 후 확산 열처리한 (b), (c)의 경우도 (a)에 비해 미세화 정도는 상대적으로 작으나 약 20~30 μm로 결정립이 미세화 되었음을 알 수 있다. 그러나 (d)의 경우 800 °C에서 어닐링한 동(銅)의 결정립은 매우 조대해서 시료가 큰 연성을 나타내기 때문에 압연접합시 변형 에너지의 축적량이 작고 이로 인해 확산 열처리에 의한 정적 재결정량이 감소하여 비교적 큰 80~100 μm의 결정립이 얻어진 것을 알 수 있다. Fig. 8은 2 패스로 압연접합된 계면사진으로 Fig. 5의 3 패스로 압연한 경우와 동일한 조직을 나타내고 있으며 이를 확산 열처리한 경우 역시 3 패스로 압연접합하여 확산 열처리한 것과 거의 동일한 조직이 얻어져서 패스수의 변화에 따른 계면 조직상의 차이는 나타나

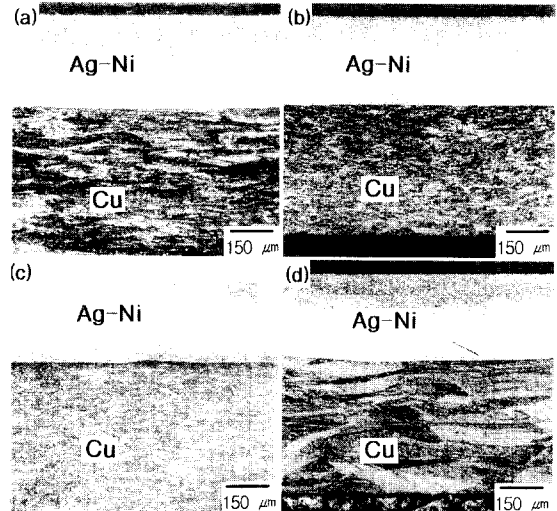


Fig. 8 Optical microstructures of Ag-Ni/Cu clad metals bonded by 2 passes rolling. The microstructures of Ag-Ni bonded with (a) as-received copper and annealed copper at (b) 300, (c) 500 and (d) 800 °C

지 않았다. 패스수에 상관없이 첫 번째 패스 변형량이 약 50% 이상이어야만 접합이 이루어졌으며 이때 패스당 압하율은 2 패스 압연의 경우 각각 ① 57~60%, ② 30% 정도였고 3 패스 압연시에는 ① 53~54%, ② 25~28% 및 ③ 20~21%의 범위였다.

(2) 압연후 접점재의 경도변화

Fig. 9는 3 패스로 압연접합한 후 접점재의 표면경도를 측정한 것으로써 압연전 동(銅)의 어닐링 온도가 높을수록 압하율은 증가하였고 경도값은 시작재인 열처리하지 않은 동(銅)(as-received copper : ARC로 표기)으로 접합한 것에 비해 약간 감소한 값으로 거의 일정하였으나 800℃에서 어닐링한 동(銅)으로 압연접합한 경우 다시 경도값이 감소하였다. 이는 압연전 대재(base metal)인 동(銅)을 300℃와 500℃로 어닐링한 경우 ARC 동(銅)에 비해 결정립은 작으면서 동(銅)의 연화 때문에 압하량은 증가해서 ARC 시편과 비교할 때 표면의 경도저하가 크지 않게 된 것이다. 그러나 압연전 800℃로 어닐링한 동(銅)의 결정립은 매우 조대해서 압하량은 크지만 가공경화는 크지 않기 때문에 상대적으로 압연접합 후 낮은 표면경도값을 보이고 있다. 특히 800℃로 어닐링된 동(銅)으로 접합된 경우 Ag-Ni와 동(銅)과의 경도차이가 거의 없다는 것은 압연에 의한 동(銅)의 가공경화량이 그만큼 적다는 것을 보여주는 것이다.

한편 압연접합후에는 접점재가 상당히 경화된 상태이기 때문에 마무리가공이나 최종제품으로 만들기 위해서 또는 접합강도를 높일 목적으로 확산 열처리를 하게 된다. 이 경우 열처리에 의해 경도값이 변화하는데 전기접점재로 사용하는 경우 단락과정에서 마찰이 발생하기 때문에 확산열처리하여 치수압연한 최종상태의 경도값이 실질적인 제품에 있어서 중요하게 된다. Fig. 10은 압연접합 후의 경도값(1st rolling)과 어닐링 후 두께 0.6 mm로 치수압연한 접점재의 경도값(final rolling)을 비교하여 나타낸 것이다. 압연접합후의 경도값에 비해 확산열처리하여 치수압연한 접점재의 경도는 전체적으로 10~15 Hv 정도 저하했으나 실질적 접촉부위인 Ag-Ni의 경도가 100 (Hv) 이상을 나타내고 있기 때문에 현재 상용 Ag-CdO 접점재의 경도값(90~100 Hv)과 비교할 때 적절한 경도값이 얻어진 것으로 판단된다.

Fig. 11은 2 패스로 압연접합한 접점재의 표면 경도를 측정하여 도기한 결과로서 전체적인 경향은 3 패스로 압연한 경우와 유사하게 나타나고 있다. 이때 ARC 시편과 300℃에서 어닐링한 동(銅)으로 압연접합한 시편의 경도값 차이가 3 패스 압연접합공정에서 보다 상대적으로 큼을 알 수 있다. 왜냐하면 어닐링하지 않은 동(銅)은 이미 상당히 가공경화된 상태이기 때문에 패스수에 따른 경도 변화가 크지 않으나 300℃로 어닐링된 동(銅)을 압연하는 경우 동(銅)이 연화된 상태이기 때문에 3 패스 또는 2

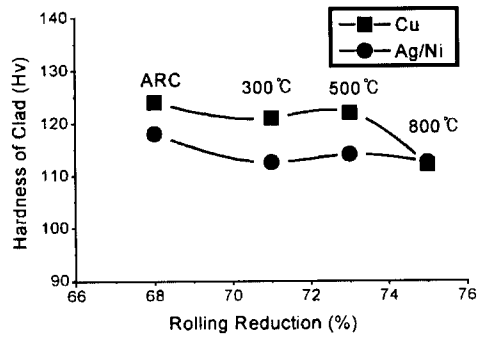


Fig. 9 Variation of the surface hardness(Hv) of clad metals as a function of total reduction ratio after 3 passes rolling. The annealing temperature of Cu are mentioned inside and ARC stands for as-received copper

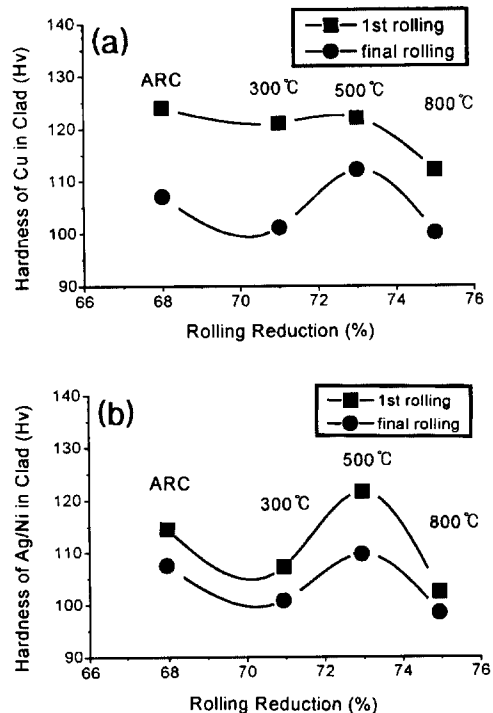


Fig. 10 Relationship between the surface hardness of (a) Cu and (b) Ag-Ni and total rolling reduction for the clad metals after primary and final rolling. (3 passes rolling)

패스 압연접합시 압하량 차이가 발생하고 이에 의한 가공경화량의 차이가 압연 패스수에 따른 경도(Fig. 11에 비해) 변화를 유발한 것이다. 따라서 연화된 동(銅)으로 압연 접합하는 경우에는 패스수에 따라서 압하량이 달라지

고 이러한 압하량의 차이는 후에 언급하는 접합강도의 차이를 유발하게 된다.

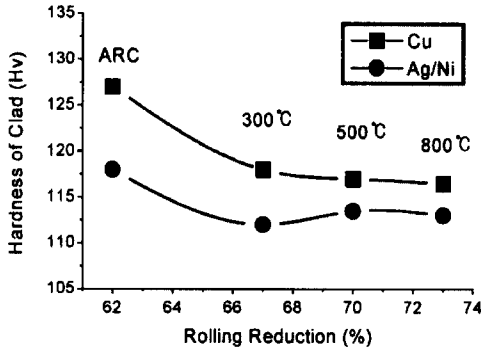


Fig. 11 Variation of the surface hardness as a function of total reduction ratio after 2 passes rolling. The annealing temperature of Cu are mentioned inside and ARC stands for as-received copper

(3) 압연접합강도

Fig. 12는 2 패스 및 3 패스 냉간압연접합후 확산열처리 및 치수압연을 거쳐 제조된 접점재의 접합강도시험 결과이다. 3 패스 압연접합의 경우 어닐링하지 않은 동(銅)이나 300°C에서 어닐링한 동(銅)으로 압연접합한 시편의 파괴하중은 120 N 정도로 높게 나타났으나 500°C, 800°C로 어닐링시킨 동(銅)으로 압연접합한 경우 접합강도가 감소하였다. 동(銅)의 압연전 어닐링 온도에 따른 접합강도의 변화는 동(銅)의 조직변화에 기인한다. 즉 압연전 어닐링된 동(銅)의 연화 정도에 따라 압연시 동(銅)과 Ag-Ni 간의 변형률 차이가 발생하고 압하량이 달라지기 때문에 확산 열처리시 재결정에 따른 조직 역시 달라지게 된다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 3 패스 압연접합후 300°C에서 1시간 동안 확산 열처리한 결과 어닐링하지 않은 동(銅)으로 압연접합하여 열처리한 (a)의 경우 10~15 μm로서 압연전 결정립(Fig. 4)에 비해 매우 미세해졌다. 결국 소성변형을 이미 받은 원래의 동(銅)판재가 압연접합시 재가공을 받아서 내부에 큰 변형에너지가 축적되었고 이 에너지가 300°C 확산열처리시 정적재결정의 양 및 속도에 큰 영향을 주어 결정립이 매우 미세해진 것이다. 이러한 결정립 미세화는 이종재료의 계면에서 결정립 크기에 의한 거시적인 계면정합성과 확산에 영향을 미침(8)으로써 강도에 영향을 줄 것으로 판단된다.

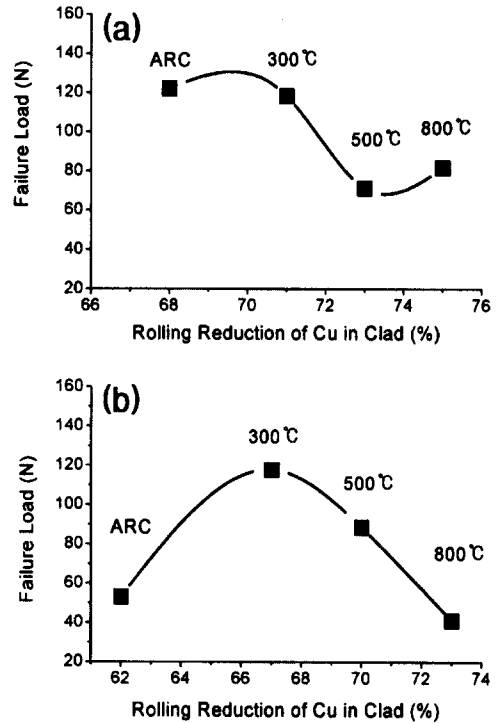


Fig. 12 Variation of failure load as a function of total reduction ratio after 3 passes rolling. The annealing temperature of Cu are mentioned inside and ARC stands for as-received copper

한편 2 패스 압연 접합재의 경우 ARC 동(銅)으로 압연접합한 경우 낮은 강도값을 나타내다가 300°C로 어닐링한 동(銅)으로 압연접합한 경우 파괴하중 120N의 최고치를 보인 후 500°C로 어닐링하여 압연접합한 조건부터 접합강도가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 3 패스 압연접합과는 달리 2 패스 압연접합의 경우 ARC 동(銅)으로 압연접합한 경우 접합력이 작게 얻어 졌는데 이는 패스수가 적어서 상대적으로 총압하율이 62%로 작아서 충분한 접합이 얻어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 300°C 이상으로 동(銅)을 어닐링하여 압연접합하면 동(銅)의 연성이 증가하여 2 패스로 압연하여도 큰 압하량이 얻어져서 강도가 증가한 것으로 나타났다. 따라서 압연전 대재(base metal)의 어닐링온도는 전체적인 접합강도 측면에서 가능한 낮추는 것이 유리하지만 적은 패스수로 압연할 때에는 압연전 동(銅)의 어닐링온도를 높이는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 또한 본 실험결과 양호한 접합을 위해서는 65% 이상의 압하량이 요구되는 것으로

4. 고찰

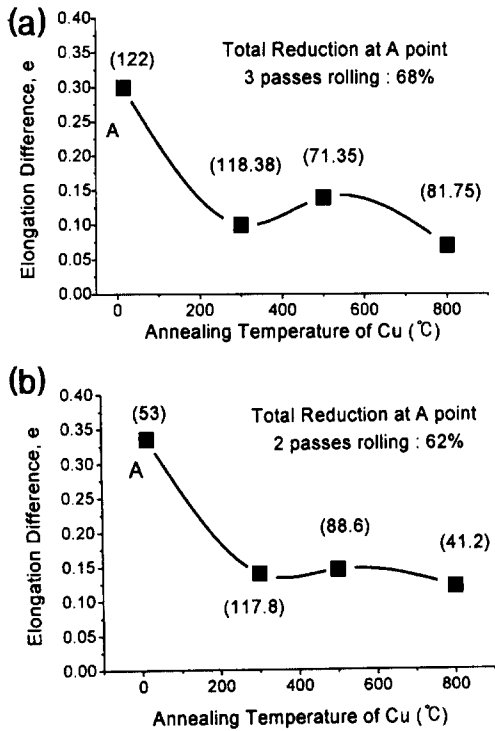


Fig. 13 Elongation difference ($e_{Ag/Ni} - e_{Cu}$) as a function of the copper annealing temperature after (a) 3 passes rolling and (b) 2 passes rolling. Values in parentheses are peel strengths

나타났으며 이는 기존 값보다 다소 작은 것으로 이는 다만 압연에 의한 효과로 판단된다.

Fig. 13은 압연접합시 발생하는 두 재료간의 변형량차를 압연전 동(銅)의 어닐링온도에 대해 도시한 것으로써 팔호 안의 수치는 접합력을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 3 패스로 압연한 경우와 2 패스로 압연한 경우 모두 동(銅)을 압연전 300℃에서 어닐링하여 접합한 경우 접합강도가 높은 것은 앞서 설명한 거시적 계면 정합성 효과와 함께 그림에 나타난 것처럼 압연시 나타나는 두 재료간의 연신율차가 비교적 적기 때문이다. 즉 압연시 두재료의 연신율차가 클수록 계면에 평행한 응력이 심하게 발생하여 한쪽 방향으로 재료를 휘게 하는 효과를 주게 되므로 근본적으로 접합을 방해하거나 접합후 탄성적으로 응력이 잔류하게 되어 접합강도를 저하시킬수 있다. 따라서 두 재료의 물성을 고려하여 각각의 어닐링조건 등을 조절하여 압연접합시 연신율 차이를 줄여주는 것이 고강도 접점재의 제조에 중요하다는 것을 알 수 있다.

압연접합시 접합강도를 좌우하는 요인들로서는 표면청정도, 압하량 및 확산 열처리등이 있으나 이들은 현재 건전한 압연접합을 위한 어느 정도 기준확립이 이루어진 상태이다.⁽⁹⁾ 한편 이들과 함께 중요한 인자인 압연시 발생하는 변형량의 차는 두 이종재료의 접합시 제어되어야 할 필수요소이다. 이종재료를 압연접합하는 경우 두 재료는 고유의 물성차에 의해 압연시 변형량의 차가 발생하며 이것이 접합을 방해하게 된다. 최근에는 이를 해결하기 위한 방법으로서 상하 압연물의 속도를 달리하여 압연하중을 줄이고 변형량의 차를 보상하는 cross shear rolling법에 대한 연구가 행해졌다.⁽¹⁰⁾ 한편 압연시 발생하는 두 재료간의 변형량 차이를 줄임과 동시에 확산 열처리시 계면에서 적절한 확산이 일어나도록 하는 것이 높은 접합력을 얻는데 중요하다. 본 연구에서는 이러한 변형량의 차를 줄이는 방안을 연구할 목적으로 압연전에 대재(base metal)인 동(銅)을 각기 다른 온도에서 어닐링시킴으로써 대재(base metal)의 물성을 변화시켜 압연하였다. 그 결과 어닐링 온도가 높을 수록 Cu와 Ag-Ni 간의 변형량차는 감소하였으나 Fig. 12에 나타난 것처럼 강도는 높은 온도에서 어닐링하여 압연접합한 경우 낮게 나타났다. 이처럼 어닐링하지 않거나 300℃로 저온 어닐링한 동(銅)으로 압연접합할 때 높은 접합강도가 얻어진 것은 결정립 크기와 압연접합후 열처리시 일어나는 확산의 효과로 판단된다. 우선 현재 실험에 사용된 Ag-10% Ni는 소결재로써 800℃에서 2 시간 동안 어닐링 시킨 후에도 경도는 저하하지만 조직적으로는 약 10 μm 정도의 미세한 결정립을 갖고 있다. 또한 어닐링 하지 않은 동(銅)은 이미 냉간 가공을 받은 상태이기 때문에 압연접합시에는 동(銅)이 재가공을 받아서 내부에 높은 축적 에너지를 갖게 되며 이것이 압연후 확산 열처리중 재결정 속도 및 재결정의 양을 증가시키게 된다. 재결정에 의해 동(銅)은 결정립이 미세화되기 때문에 결정립이 매우 작은 Ag-Ni와의 계면에서 계면 정합성이 향상되며 동시에 상호간 결정립 크기 차이에 의해 발생할 수 있는 탄성변형효과가 감소하여 접합력이 증가된 것으로 판단된다. 둘째로는 압연전 동(銅) 조직의 차이가 확산 열처리시 확산에 미치는 효과이다. 확산 열처리시에는 온도가 300℃로 낮아서 계면에서 반응층이 형성되지는 않는 단거리 범위의 확산이 일어나게 된다. 따라서 결정립이 미세할수록 고 확산경로(high diffusivity path)로 작용⁽⁸⁾하는 결정립계 면적이 증가하여 접합력 증

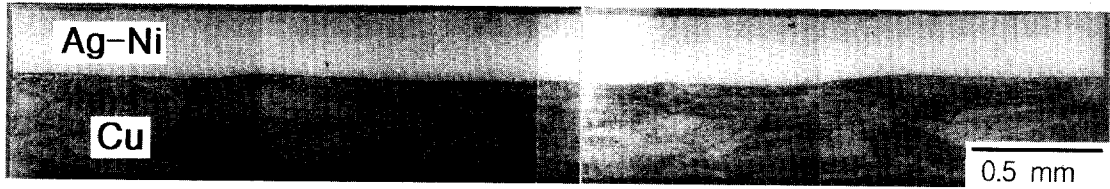


Fig. 14 Optical micrograph of Ag-Ni roll bonded with Cu. Note wavy interface, between Ag-Ni and Cu

가에 필요한 확산이 활발하게 일어날 수 있다. 또한 확산은 변형에너지 구배에 의해 영향받아서⁽¹¹⁾ 변형에너지가 높은 쪽으로 촉진되는데 이는 결합을 통한 확산이 보다 용이하기 때문이다. 결국 저온에서 어닐링한 동(銅)으로 압연접합한 경우가 보다 많은 내부에 변형에너지를 축적되어 있기 때문에 이것이 확산 열처리시 결정립 미세화 및 단범위 확산에 대한 구동력으로 작용해서 궁극적으로 접합력의 증가 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 반면에 압연전 800℃에서 어닐링하여 압연접합한 경우 대재(base metal)인 동(銅)과 Ag-Ni 간의 변형량 차이가 가장 적음에도 불구하고 접합강도가 낮게 나타났는데 이는 Fig. 14에 나타난 것처럼 불균일 변형에 의해 접합계면이 상당히 휘어진 것에 기인한다. 즉 800℃에서 어닐링하여 압연접합하는 경우 대재(base metal)인 동(銅)이 완전 어닐링되어 매우 큰 연성을 갖기 때문에 압연시 동(銅)이 불균일하게 변형되어 높은 접합력을 갖는 계면이 얻어지지 않은 것으로 판단된다. 따라서 냉간 압연접합시 압연전에 대재(base metal)를 어닐링하는 경우 어닐링온도는 가능한 낮추는 것이 유리하지만 적은 패스수로 압연접합할 때는 충분한 연성이 얻어지도록 어닐링 온도를 압연 패스수가 많은 경우에 비해 높이는 것이 유리한 것으로 나타났다.

5. 결 론

(Ag-Ni)/Cu 접점재의 압연접합에 관한 연구를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 대재(base metal)의 압연전 어닐링 처리에 의해 접점재와의 결정립 차이가 적도록 조절하는 것이 접합에 유리하였으며 본 실험에서는 약 10 μm의 결정립을 갖는 접점재(Ag-Ni)에 대해 대재(base metal, Cu)의 결정립을 50 μm 이하로 하여 압연접합하는 경우 높은 접합강도를 얻을 수 있었다.

(2) 압연접합전 대재(base metal)의 열처리 온도는 동(銅)의 재결정 온도 이하인 300℃ 이하가 좋으나 패스수

를 줄이고자 할 때 총 압하량을 늘리기 위해 어닐링 온도를 높이는 것이 접합에 유리하였다.

(3) 압연전 대재(base metal)가 300℃ 이하에서 어닐링 되었을 때 접합력은 최고값을 나타내었다. 이는 어닐링 온도가 낮은 경우 압연에 의한 변형 에너지의 축적량이 커져서 이것이 정적 재결정(static recrystallization) 동안 결정립 크기를 감소시켜 계면 접합성을 향상시켰기 때문이다.

(4) 2 또는 3 패스에 의한 냉간 압연접합에 의해 총압하율이 65% 이상을 유지할 때 높은 강도의 접점재료를 제조할 수 있었으며 최종 치수 압연후 Ag/Ni의 표면경도는 평균 100(H_v) 이상이 얻어졌다.

(5) 본 실험에서 최적의 조건으로 압연접합한 경우 폭 7 mm의 접점재에 대해 120N의 접착력을 얻을 수 있었다.

6. 참고문헌

- (1) S. Masuda, I. Nakauchi, A. Tagane, M. Yamawaki and K. Yako, 1988, "Rolling Characteristics of Cladding Plates in Hot Roll Bonding Process", Trans. ISIJ, 29 pp.470~477.
- (2) 이세형, 이동녕, 1993, "압연접합에 의한 적층 접점재의 제조", 대한금속학회지 Vol. 31, No. 6 pp.730~738.
- (3) R. F. Tylecote, 1963, "Effect of Heat Treatment on Cold Pressure Welds", The solid welding of metals, London, Edward Arnold.
- (4) V. A. Kolesnichenko, 1985, "Increase of Strength of the Joint in Wedge Pressure Welding Aluminium to Steel", Welding Production, 11 pp.20~23.
- (5) D. Pan and D. H. Sansome, 1982, J. Mech. Work Technol., 6 pp. 361~377.
- (6) D. Pan, G. Wang, T. Wang and J. Yu, 1987, Proc.

- 4th Int. Conf. on Steel rolling, Deanville, France, June 1987, Association Technique dela Siderurgie Francaise/IRSIP pp.2.1~2.7.
- (7) K. J. B. McEwan and D. R. Miller, 1962, British Welding Journal, July p.413.
- (8) D. A. Porter and K. E. Easterling, 1990, Phase Transformation in Metals and Alloys, Champman and Hall, London pp.98~102.
- (9) R. Blickenderfer and J. M. Burrus, 1984, J. Testing and Evaluation Vol. 12 No. 1 pp.3~12.
- (10) D. Pan and K. Gao, J. Yu, 1989, "Cold Roll Bonding of Bimetallic Sheet and Strips", Mater. Sci. & Tech., Vol. 5, No. 9 pp.934~939.
- (11) D. A. Porter and K. E. Easterling, 1990, Phase Transformation in Metals and Alloys, Champman and Hall, London pp.91~94.