

Cu-Cr 계 접점재료의 소결특성에 관한 연구

연영명*, 오일성, 박흥태, 이상엽, 서정민
LG산전 전력연구소

A study on the sintering characteristics for Cu-Cr contact material

Young-Myoung Yeon*, Il-Sung Oh, Hong-Tae Park, Sang-Yeup Lee, Jung-Min Seo
LG Industrial Systems Electrotechnology R&D center

Abstract - The effects of pre-sintering and infiltration conditions on the electrical and physical properties of Cu-Cr contact material have been studied. Specimens were prepared by infiltration technique, aiming at the final composition of Cu50wt%Cr, with varying pre-sintering and infiltration conditions. It showed that increased pre-sintering temperature had a little influence on the final microstructure of Cu-Cr contact material, but improved the surface morphology of Cr-skeleton resulting in better wettability in the followed infiltration process. It also showed that Cr grain growth and grain shape change became prominent with increasing infiltration temperature and time.

1. 서 론

진공인터럽터(Vacuum Interrupter : VI)는 진공차단기(Vacuum Circuit Breaker)의 핵심부품으로 차단 성능과 절연특성이 우수하고, 유지 및 보수가 필요없기 때문에 중전압용 차단기에 가장 널리 사용되고 있다. 진공인터럽터의 차단성능은 전극구조 및 동작 메카니즘과 같은 인자에 의해 영향을 받지만, 주로 접점재료에 의해서 그 성능이 결정된다.⁽¹⁾ 접점재료의 성질은 화학적 조성, 미세구조, 가스함량 그리고 차단시 발생하는 아크(arc)에 의한 표면의 미세조직에 의해 좌우된다.^(2,3,4) 일반적으로 진공인터럽터용 접점재료 가장 많이 사용되고 있는 것은 CuCr이다. 일반적으로 CuCr접점재료는 분말야금법(Powder Metallurgy)을 이용하여 제조되는데, Cr의 함량에 따라 그 제조방법이 달라진다. Cr의 함량이 40wt%이상인 경우에는 용침법(Infiltration Method)을 이용하고, 그 이하에서는 고상(Solid sintering) 또는 액상소결법(Liquid sintering)이 주로 사용되는 것으로 알려져 있다. 용침법은 Cr 분말을 성형한 후 적절한 온도에서 예비소결(pre-sintering)하여 Cr 골격체를 만든 후 Cu의 용융온도(1083℃) 이상으로 온도를 유지하여 액상의 구리가 모세관력(Capillary Force)에 의해 Cr 골격체내의 기공사이로 침투하도록 하며, 이때 Cu-Cr의 조성은 Cr 골격체 내의 개기공의 분율을 조절함으로써 변화시킬 수 있다. 용침법은 고상소결, 액상소결법보다 빠른 시간내에 고밀도의 소결체를 얻을 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 용침법을 이용한 Cu50Cr 접점재료 제조시 예비소결 및 용침조건 변화 따른 소결특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 실험에 사용된 Cr 분말은 스미토모(Sumitomo, Japan) 금속사의 제품으로, 평균입도가 100mesh(-150 μ m)인 전해크롬을 사용하였으며, 화학성분은 표 1과 같다. Cr의 골격체(skeleton)를 제조하기 위해서 내경 30mm, 높이 10mm의 흑연(graphite) 도가니를 사용하여 Cr 분말을 충전 시킨 후, 진공분위기 하에서 각각

표 1. Cr 분말의 화학성분

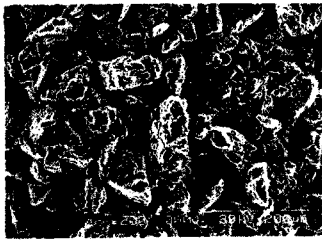
화학성분 (ppm)								
Fe	S	C	Si	Al	Pb	N	O2	Cr
1500	60	60	50	50	10	60	≥1000	Bal.

1000℃, 1250℃에서 120분 동안 예비소결을 수행하였다. 예비소결 조건에 따른 시편의 기공율은 아르키메데스(Archimedes)의 원리를 이용한 밀도측정법으로 측정하고, 기공율에 따라 Cu의 함량을 조절하여 용침(Infiltration)을 행하였으며, 이때 용침조건은 Cu의 용융온도(1083℃)보다 높은 1100℃, 1150℃, 1200℃에서 각각 30분, 90분, 180분 동안 진공분위기에서 실험을 수행하였으며, 이때 승온 및 냉각 속도는 예비소결 조건 및 용침조건에 대하여 5℃/분으로 일정하게 유지하였다. 그리고 전자현미경을 이용하여 예비소결 온도 변화에 따른 Cr 골격체의 구조변화 및 표면형상을 관찰하였다. 또한 용침 조건에 따른 조직변화를 관찰하기 위해 광학현미경을 이용하여 각각의 시료에 대해 미세조직을 관찰하였으며, 재료의 물성을 분석하기 위해 도전율(Electrical Conductivity)을 측정하고, 로크웰 경도계(F scale)를 이용하여 경도특성을 분석하였다.

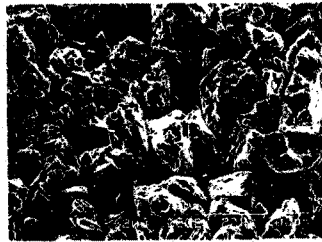
2.2 실험결과

2.2.1 Cr 골격체 구조 및 기공율 변화

그림 1은 1000℃와 1250℃에서 120분 동안 진공분위기에서 예비소결한 Cr 골격체의 파면을 전자현미경을 이용하여 200배율로 관찰한 결과이다. 1000℃에서 예비소결한 시편의 경우, 커다란 Cr 입자표면에 미세 입자가 분포하고 있으며, 표면형상(morphology)도 소결 전 성형체와 유사한 형태로 거의 변화를 관찰할 수 없었다. 이는 예비소결 온도가 낮아 Cr 입자간의 확산현상이 크지 않았기 때문이라고 생각된다. 반면, 1250℃에서 예비소결한 시편의 경우, 온도상승에 의한 Cr 입자간의 확산이 활발히 진행되어 덩어리(agglomeration)



(A) 1000°C×120분



(B) 1250°C×120분

그림 1. 예비소결 온도변화에 따른 Cr-골격체구조 변화

형태를 이루고 조대화 됨을 보여주며, 표면형상도 (A) 시료보다 개질 되었음을 알 수 있다. 특히 소결과정 초기에 나타나는 Cr 입자간의 목형성 및 성장이 온도가 상승함에 따라 커지고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 예비소결온도에 따른 Cr 골격체의 기공율 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 Cr 골격체의 기공율은 소결온도변화에 따른 영향이 적었으며, 기공율은 45~47%로 거의 일정하게 나타났다. 또한 Cr-골격체의 강도는 위에서 언급한 목형성의 영향에 의해 소결온도가 증가함에 따라 향상됨을 알 수 있었다.

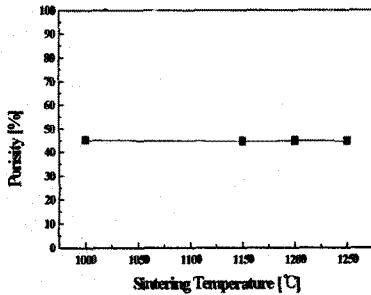
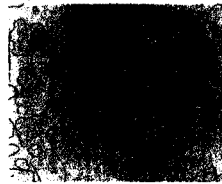


그림 2. 예비소결조건에 따른 기공율 변화

2.2.2 예비소결 및 용침조건에 따른 미세조직의 영향

그림 3과 4는 1000°C, 1250°C에서 120분 동안 진공분위기에서 예비소결을 하여 Cr 골격체를 형성시킨 후, 1100°C, 1200°C에서 30분, 180분 동안 진공분위기에서 무산소동(OFHC)을 용침시킨 시편의 미세조직을 관찰한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 용침시간이 길어짐에 따라 Cr 입자의 크기는 증가하고, 입자의 형상도 불규칙적인 형상에서 구형으로 변화됨을 알 수 있다. 이는 용침 온도의 증가에 따라 Cu액상내의 Cr의 용해도가 증가하게 되며 이에 따라 용해-재석출 현상이

활발히 일어나 입자의 구형화에 기여하기 때문인 것으로 판단된다. 즉 Cr 입자는 높은 표면에너지를 갖는 작진 부분부터 Cu 액상내로 용해되고 일정시간이 경과 후 재석출을 통하여 표면에너지가 안정한 상태인 구형으로 변화하기 때문이다. 시간의 증가에 따른 Cr 입자의 크기증가는 Ostwald Ripening 현상⁽⁶⁾에 의한 입자성장이라 사료된다. 또한 CuCr 재료의 미세조직 변화는 예비소결 조건보다 용침조건에 의해 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 그림 5는 용침 실험 후 시편의 파단면을 전자현미경으로 관찰한 결과로, 예비소결 온도 및 용침온도/시간이 증가함에 따라서 Cr 입자의 성장 및 구형화를 확인할 수 있었다.



(A) 1100°C×30분



(B) 1100°C×180분

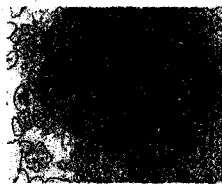


(C) 1200°C×30분

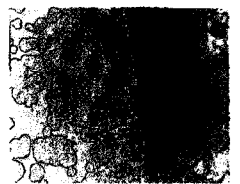


(D) 1200°C×180분

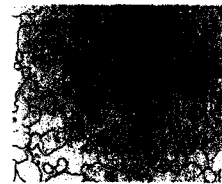
그림 3. 용침 조건에 따른 미세조직 변화 (1000°C×120분 예비소결)



(A) 1100°C×30분



(B) 1100°C×180분



(C) 1200°C×30분



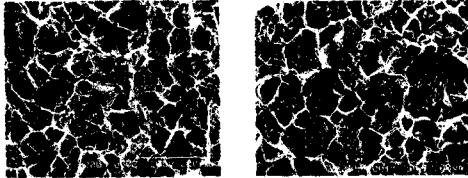
(C) 1200°C×30분

그림 4. 용침 조건에 따른 미세조직 변화 (1250°C×120분, 예비소결)

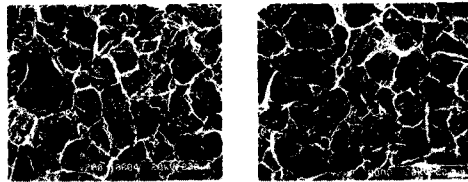
2.2.3 전기 및 기계적 특성에 미치는 영향

그림 6은 용침온도에 따른 도전율의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 용침온도가 증가함에 따라 도전율은 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 동일한 온도조건에서 용침시간이 길어질수록 도전율은 감소하는 경향을 보이는데, 이는 용침시간이 길어짐에 따라

Cr이 입자성장을 하기 때문에 단위 체적당 Cr 입자가 차지하는 비율이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 도전을 값이 1150 °C 부근에서 일정한 경향을 보이지 않는 것은 용침공정에서는 조성을 정확히 제어하기가 매우 힘들기 때문에 Cu/Cr의 조성비 차이에 의한 현상이라 사료된다. 그림 7은 예비소결 조건 및 용침온도에 따른 경도값의 변화를 나타낸 것이다. 용침조건에 따른 경도값은 1100 °C에서 가장 높게 나타났으며, 용침온도가 증가하고, 용침시간이 길어짐에 따라 경도는 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 Cu 및 Cr의 입자의 조대화 및 재료의 연화현상 때문이라 사료된다.



(A) 1100°C×30분 (B) 1200°C×180분
[1000°C×120분, 예비소결]



(C) 1100°C×30분 (D) 1200°C×180분
[1250°C×120분, 예비소결]

그림 5. 용침조건에 따른 파단면 미세조직

3. 결 론

예비소결 온도 및 용침조건에 따른 Cu50Cr 접점재료의 소결특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 예비소결 온도가 상승함에 따라 Cr 입자간의 확산에 의해 목형성 증가 및 표면형상이 개선되는 경향을 나타내었으며, 기공율 변화에는 영향을 미치지 않았다.
- 2) 용침온도 및 시간이 증가할수록 Cr 입자는 ostwald ripening 현상에 의해 성장하는 경향을 보였으며, Cr 입자의 형태는 표면에너지가 높은 각진 형상에서 안정한 구형의 형태로 변화하였다.
- 3) Cu50Cr 접점재료의 도전을 및 경도특성은 용침온도 상승 및 시간이 길어짐에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

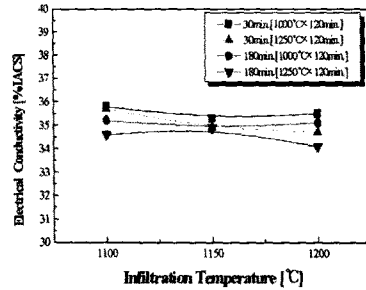


그림 6. 용침 온도에 따른 도전율 변화

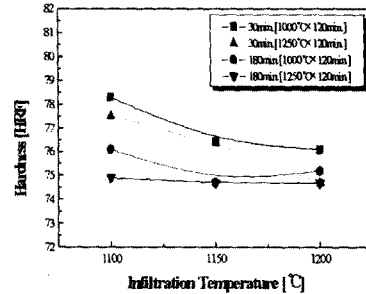


그림 7. 용침 온도에 따른 경도 변화

[참 고 문 헌]

- [1] P.G. Slade, "Advances in material development for power vacuum interrupter contacts", IEEE on Comp. Packaging and Manufacturing Technology Part A, Vol. 17, No. 1, 1994
- [2] E. Huber, K. Frohlich, and R. Grill, "Dielectric Recovery of Copper Chromium Vacuum Interrupter Contacts after Short Circuit Interruption", XVth ISDEIV, 351, 1996
- [3] J. Ballat and D. Konig, "Insulation characteristics and Welding behavior of butt Contacts made of CuCr of different composition and manufactured in different processes", XVth ISDEIV, 574, 1992
- [4] W.F.Reider, M.Schuss, W.Glatzle, and E.Kny, "The Influence of Composition and Cr Particle Size of Cu/Cr Contacts on Chopping Current, Contact Resistance, and Breakdown Voltage in Vacuum Interruter", IEEE Trans. Components, Hibrids, & Manufacturing Technology, Vol. 12, No. 2, 273, 1989
- [5] Randall M. German, "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, INC., 230, 1996