

論 文

# Diamond Wheel용 Cu-Sn 기지의 유리연삭에 미치는 특성에 관한 연구

최 성 국\*, 서 형 석\*, 최 정 철\*\*

## A Study on Properties of Cu-Sn Matrix Used in Diamond Wheel for Grinding Glass

Sung-Kook Choi\*, Hyung-Suck Suh\*, Jeong-Cheol Choe\*\*

### Abstract

Diamond is the hardest material known to humans, also possesses the highest thermal conductivity and a very low thermal expansion coefficient. Therefore, these properties of diamond make them logical choices for many difficult grinding application

Bonding material is a very important factor to performance of a grinding wheel. Grinding glass constitutes one of the major application areas of diamond grinding wheels, and Cu-Sn tin bronze matrix is widely used as a metal bond of diamond wheel in grinding glass but these studies are rarely reported.

The bronze test pieces excluding diamond are sintered by the method of hot sizing respectively at 600°C, 650°C, 700°C, with a composition(Cu-10wt%Sn) on  $\alpha$  phase and two compositions(Cu-20wt%Sn and Cu-23wt%Sn) on  $\alpha+\beta$  phase.

The rupture strength of Cu-10wt%Sn is highest. The bronze bonded diamond wheels are manufactured by same conditions as the bronze test pieces.

The results of grinding ratio of wheels are highest in case of Cu-10wt%Sn bonded wheel sintered at 650°C and grinding power is highest in same composition sintered at 700°C

### 1. 서론

다이아몬드 공구는 다이아몬드가 갖는 높은 경도와 내마모성을 이용하여 각종 경질 난삭재를 연삭하고 절삭하거나 정밀도를 높게 가공하는 데 사용된다. 또한 다이아몬드 공구를 사용하면 수명이 크게 증대되므로 공구의 교환빈도가 적어짐에 따른 고능률화와 자동화를 가능하게 하므로 이에 따라 다이아몬드 공구의 수요가 더욱 증대되어 가고 있다.<sup>1)</sup>

다이아몬드 공구의 주된 품종에는 cutting saw, segment tool, grinding wheel, dresser 등으로 구분할 수 있는데 이중 grinding wheel은 다이아몬드 분말을 resin, metal 또는 유리질 분말과 혼합하여 소결 응고시킨 것으로 주물, 초경합금, 내화물, 유리등의 연삭 가공에 쓰여진다.<sup>2)</sup> 이중 유리연삭에 뛰어난 성능을 보이고 있는 메탈본드 다이아몬드 공구는 다이아몬드 지석을 지칭하며 다이아몬드 입자를 금속으로 결합하여 주는 것으로 본드의 제특성이 다이아몬드 wheel의 연

\*이화다이아몬드공업(주)(Ehwa Diamond Ind.Co.,Ltd.)

\*\*아주대학교 공과대학 재료공학과(Dept. of Materials Eng., Ajou Univ.)

삭 능력을 결정하고 있다.<sup>3)</sup> 메탈본드로서 Cu계열 합금이 널리 쓰이고 있는데 Cu는 공구재료로서 요구되는 성질인 연삭시 빠른 열분산 능력과 Ag 다음으로 전기전도가 높고 내식성이 우수하며 가공하기 쉽기 때문이다. 이러한 Cu에 Sn을 첨가하면 강도 및 경도가 향상하여 다이아몬드 wheel의 기지합금으로 주석청동합금이 메탈본드 재료로서 주목받고 있다.<sup>4)</sup> 그러나 최적성능의 다이아몬드 wheel 제조시에 가장 문제가 되는것은 기지재료인 Cu와 Sn의 조성과 소결온도라고 할 수 있는데 온도와 조성에 따라 나타나는 여러가지 상은 조건에 의해서 달라지며 소결후의 제특성과 밀접한 관계가 있으나, 현재까지 다이아몬드 wheel의 기지재료로서 주석청동에 대한 연구보고는 거의 찾아보기 힘들 정도이다.

따라서 본 연구에서는 먼저 소결 후 주석청동합금의 제특성을 알아보기 위하여 시편의 Sn조성과 소결온도를 변화시켰다. 시편을 소결한 후 상온에서 냉각하여 합금의 밀도 및 경도, 항절력을 측정하였고, 조성에 따른 조직관찰을 위해 광학현미경으로 미세조직을 고찰했다.<sup>5)</sup> 나아가 시편제조시와 같은 조성의 주석청동 혼합체에 다이아몬드 입자를 고르게 섞은 후 소결하여 다이아몬드 wheel을 만든 다음, 판유리를 연삭하여 연삭비 및 연삭동력을 측정하여 주석청동합금을 기지로 한 다이아몬드 wheel의 유리연삭 성능에 대해서 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편제작

주석청동 시편을 제조하기 위하여 325mesh인 고순도의 Cu분말과 Sn분말을 소정의 배합비로 교반기(TURBULA T2C)를 이용, 1,400 rpm으로 각각 1시간 30분 동안 교반하였다. 혼합되어진 합분체를 1차성형 하기 위해 Fig. 1 과 같은 SKD-11 종의 금형에 넣어 15 ton press를 이용하여 2ton/cm<sup>2</sup>의 압력으로 성형하였다. 그리고 불순물혼합 및 산화방지를 위해 수소분위기 tunnel type 전기로에서 각 시편당 600, 650, 및 700°C의 소결온도에서 4.25m<sup>3</sup>/h의 유속으로 수소량을 주입한 후 40분동안 유지한 다음 금형을 전기로에서 꺼내고, 0.7ton/cm<sup>2</sup>의 압력을 주어 2차성형을 하였다. 그후 상온에서 냉각시켜 금형을 해체, 시편을 제조하였다.

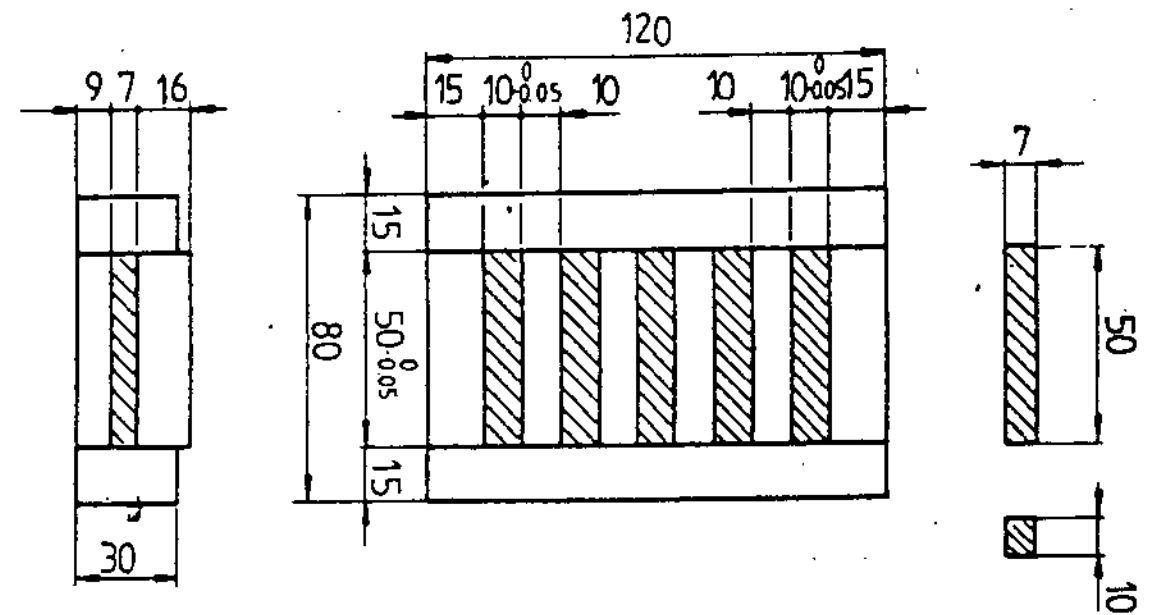


Fig. 1. Dimension of specimen mold for mechanical testing

Table 1. Chemical composition of wheel

composition	diamond (ct)	Cu (g)	Sn (g)	sintering temp. (°C)
Cu-10wt%Sn		60.3	6.7	600
				650
				700
Cu-20wt%Sn	8.9 (conc. 25) <sup>10)</sup>	53.6	13.4	600
				650
				700
Cu-23wt%Sn		51.6	15.4	600
				650
				700

주석청동합금을 기지로한 다이아몬드 wheel의 유리연삭 성능을 시험하기 위하여 산화되지 않은 325mesh의 Cu와 Sn 그리고 170/200 mesh의 합성다이아몬드 MBG-11<sup>6)</sup>를 Table 1에 나타난 것과 같은 3가지 배합비로 하였다.

이를 교반기를 이용 1,400 rpm 으로 1시간동안 혼합한 후 재질이 SKD-11종인 금형에 고르게 장치하고 80ton press로 2ton/cm<sup>2</sup>의 압력을 가해 1차 성형을 했으며, 앞의 3가지 형태의 성형체에 대해 각각 소결온도를 600, 650, 700°C로 소결하였다. 소결은 주석청동합금을 제조할 때 이용한 수소분위기 전기로에서 했으며 수소 주입량 및 유지시간도 같게 하였다. 노에서 꺼낸 소결체를 0.7ton/cm<sup>2</sup>의 압력을 가해 2차성형을 한 후 공냉시켰고 이어서 금형을 해체, Fig. 2와 같은 형

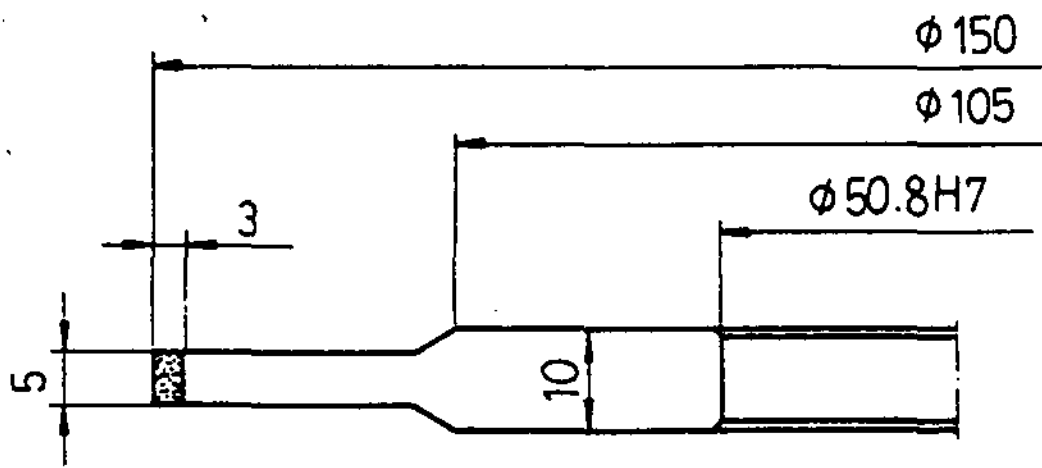


Fig. 2. Dimesion of diamond wheel

상으로 가공하여 wheel을 제작하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 광학현미경 관찰

제작된 시편을 적당한 크기로 절단한 후 #120의 사포로 grinding을 행하고 마이크론 알루미나 분말을 이용한 천연마를 거쳐 Aqueous Ferric Chloride 부식액(Fe<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub> 10g+HCl 30cc+H<sub>2</sub>O 120cc)으로 수초간 부식하여, 소결이 끝난 시편의 표면조직을 광학현미경으로 150배율로 관찰하였다.

#### 2.2.2 시편의 특성 측정

소결이 끝난 시편의 진밀도를 알아보기 위해 전자비중계(EW-120SG)를 이용, 밀도를 측정했다.<sup>7)</sup> Cu에 대해 Sn의 분산효과가 기계적 특성에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 2ton의 하중을 걸어 측정했으며 경도는 Rockwell 경도(B scale 100kg/cm<sup>2</sup>)로 시편의 경도를 측정 하였다.<sup>8)</sup>

#### 2.2.3 Wheel의 유리연삭 측정

wheel의 연삭성능을 측정하기 위하여 가로 200mm, 세로 5mm, 높이 100mm의 soda-lime glass 판유리 10장을 겹쳐놓은 뒤 연삭기에 wheel을 장착하였다. 연삭기 table속도는 15m/min으로 맞춰 놓고 적정 범위의 주속내에서<sup>9)</sup> 선택한 1540m/min의 주속으로 설정하고 절입방법은 수평절입(cross feed)을 3.8mm, 수직절입(down feed)을 100 $\mu$ m로 하였다. 또한 연삭액은 물과 기름을 50:1로 섞어 에멀전 상태로 하여 9ℓ/min의 유속으로 흘려보내면서 기지재료의 조성구소결온도가 다른 각각의 wheel에 대하여 4시간씩 유리를 연마하였다. 더욱 wheel의 연삭 성능을 알아보기 위해 wheel의 연삭비와 유리를 1cc 연마하는 데 필요한 연삭동력을 측정 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 기지 조직의 특성

Cu-Sn 평형상태도에서 Sn의 함유량에 따라  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  및  $\eta$ 인 4종의 고용체와  $\delta$ (Cu<sub>31</sub>Sn),  $n$ (Cu<sub>2</sub>Sn) 및  $\epsilon$ (Cu<sub>2</sub>Sn<sub>3</sub>)인 3종의 화합물이 존재한다. Cu축에  $\alpha$ 고용체가 있고 Sn의 최대고용도는 520°C에서 약 15.8%이다. 본 실험에서는 주석청동합금의 조성구소결온도를 변화시켜 소결후의 미세조직을 고찰하기 위하여 가로, 세로, 높이가 각각 50×10×7mm인 SKD-11종의 공구강 금형에 Cu-10wt%Sn, Cu-20wt%Sn 및 Cu-23wt%Sn의 조성을 갖는 합분체를 냉간성형을 거쳐 소결하였다. 여기서 Cu-23wt%Sn의 경우에 있어서는 원래 Cu-25wt%Sn의  $\beta$ 상에서의 특성을 관찰하려고 하였으나 과잉 Sn이 고온압축시 흘러나와 제조가 불가능하였다. 따라서 고온압축 가능한 최대 Sn함량인 Cu-23wt%Sn을 택하여 고찰하게 되었다.

Photo 1은 Cu-10wt%Sn의 소결온도에 따른 조직을 나타내었다. 사진의 밝은 부분은 순Cu이고 어두운 부분은 순Sn이다. 본 합금계는 소결에 참여하는 성분이 다원성분계에서 단일 또는 그 이상의 성분이 소결체 내에서 액상을 형성하는 액상소결이다.<sup>11)</sup> Cu의 녹는 점은 1083°C, Sn의 녹는 점은 232°C이므로 600°C와 700°C사이의 소결구역에서는 Sn이 액상으로 존재하여 Cu와 반응하게 된다. 600°C와 700°C 사이에서는 모두  $\alpha$ 단상으로 존재하지만 600°C에서는 a) 에서 같이 Sn이 Cu입자 사이로 충분히 스며들지 못한채 편재되어 있으나 온도가 올라감에 따라 액상이 유동하여 골고루 퍼져 c)에서는 거의 Sn이 Cu입자를 감싸고 있지만 Sn함량의 부족으로 Cu와 Cu의 고상결합이 그대로 존재하고 있었다.

Photo 2는 Cu-20wt%Sn의 온도변화에 따른 미세조직을 나타내었다. Sn이 많아지면 798°C에서 포정반응으로  $\beta$ 상(Face Centered Cubic)이 나타나며 586°C에서는  $\beta = \alpha + \gamma$ 의 공석변태를 한다. 이 상은 520°C에서 다시  $\gamma = \alpha + \delta$ 의 공석변태를 하여  $\delta$ 상은 다시 350-375°C에서  $\delta = \alpha + \epsilon$ 로 공석분해한다.

따라서 실온에서 Cu, Sn이 이루는 상으로는( $\alpha + \epsilon$ )이나 실제 조직상에는  $\alpha$ 와  $\beta$ 상만이 관찰되었다. 이는 고체내 상변태가 극히 느려  $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$ ,  $\delta \rightarrow \alpha + \epsilon$ 의 변화가 억제되었기 때문이다.  $\alpha$ 상은

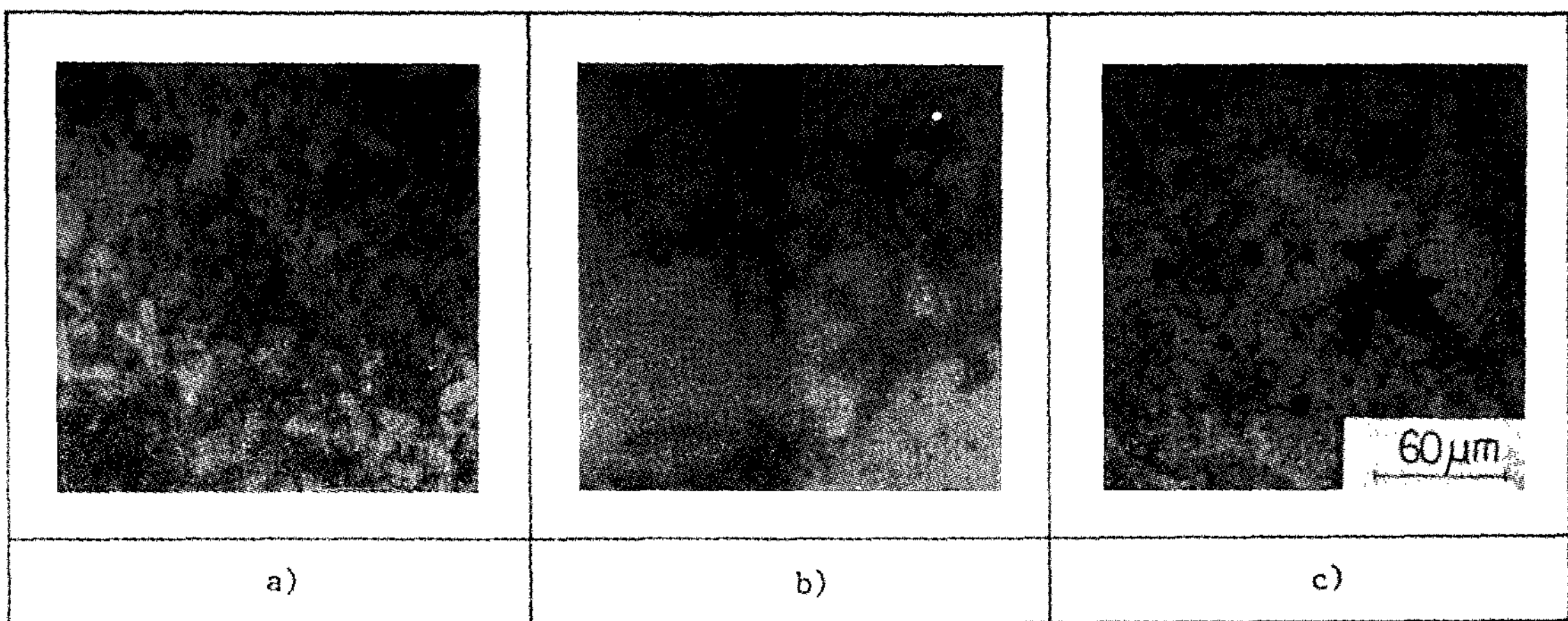


Photo 1. Microstructure of Cu-10wt%Sn sintered at a) 600°C b) 650°C c) 700°C

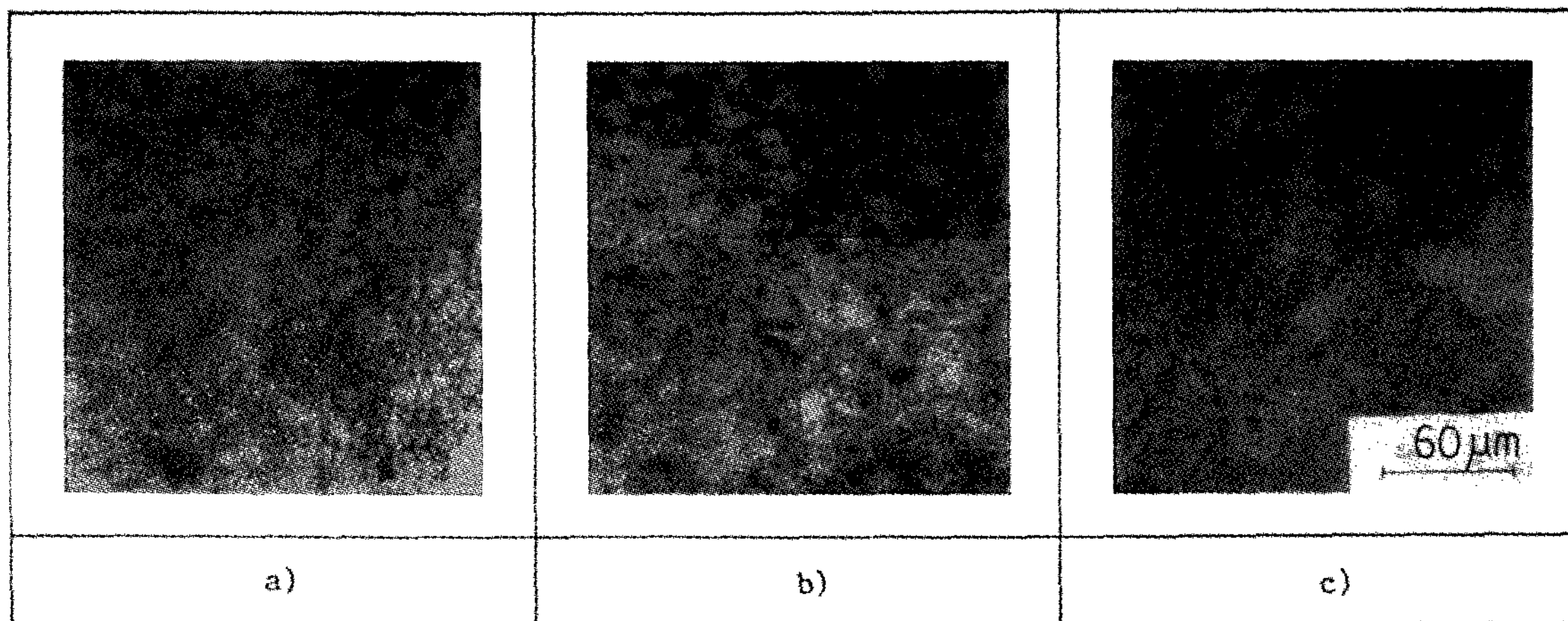


Photo 2. Microstructure of Cu-20wt%Sn sintered at a) 600°C b) 650°C c) 700°C

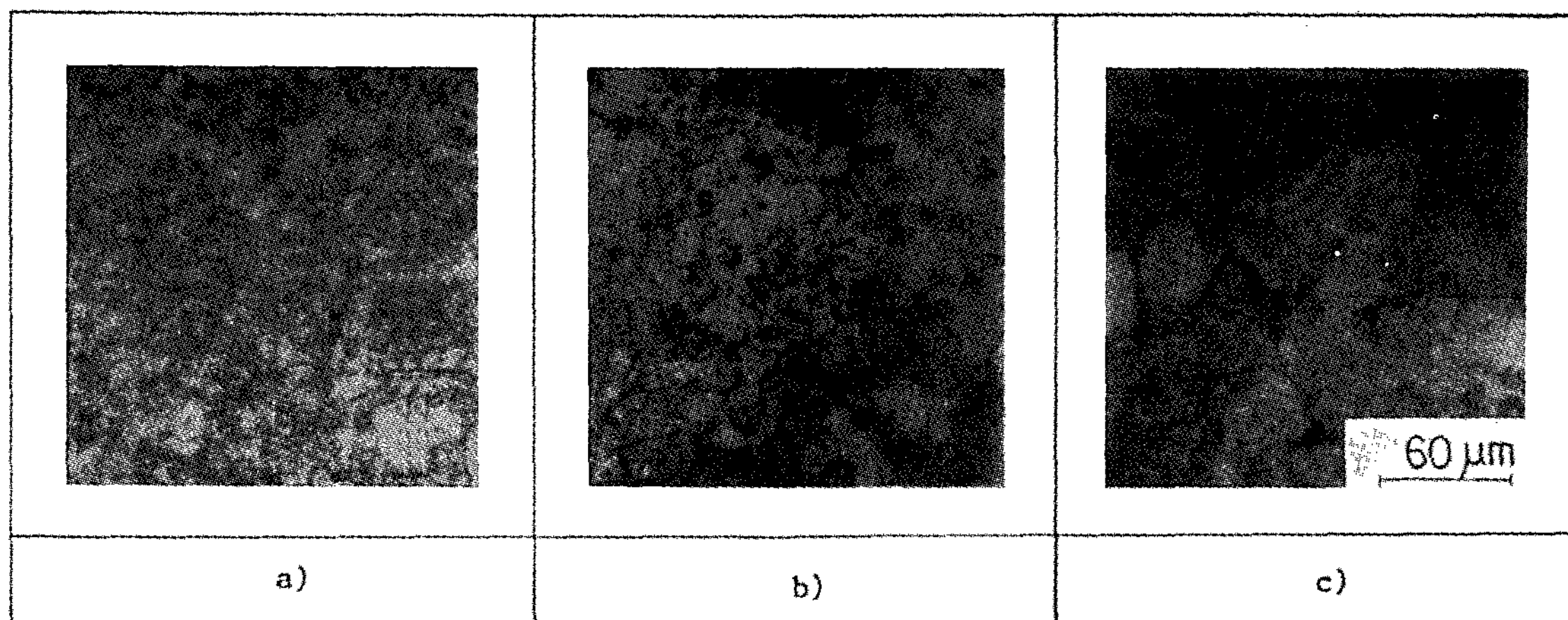


Photo 3. Microstructure of Cu-23wt%Sn sintered at a) 600°C b) 650°C c) 700°C



동적색으로 연하고 전성, 연성이 크며 β상은 오랜 지 빛깔로 인장강도가 크나 전성, 연성은 작다.<sup>12)</sup> c)에서 보는 바와 같이 700°C가 되어도 액상의 유동이 조금밖에 일어나지 않고 편재된 액상을 보이고 있는데 이는 Cu입자의 계면 사이에 작용하는 Sn이 Cu사이의 pore를 상당부분 채우고 남은 과포화된 Sn입자간의 결합으로 결정이 성장되어진 것으로 관찰 되었다.

Photo 3은 Cu-23wt%Sn의 온도변화에 따른 미세조직을 나타내었다. Photo 2의 조직과 같은 편재는 Cu-23wt%Sn의 700°C에서 소결한 조직인 c)와 비교해볼때 Sn의 양이 많으면 많을수록 심한 것으로 검토되었다.

3.2 기지조직에 따른 특성 변화

비중이 8.96인 Cu와 7.3인 Sn을 합금화하여 소결후 진밀도를 전자 비중계로 측정하여 합금의 치밀화 정도를 조사하였는데 이것은 다이아몬드가 얼마나 견고히 기지에 의해 holding되고 있는가를 알 수 있기 때문이다. Fig. 3은 조성과 온도에 따른 밀도를 나타내었다. Fig. 3에서 주석청동합금의 밀도는 8.5-8.9g/cm<sup>3</sup>의 값을 보이고 Sn의

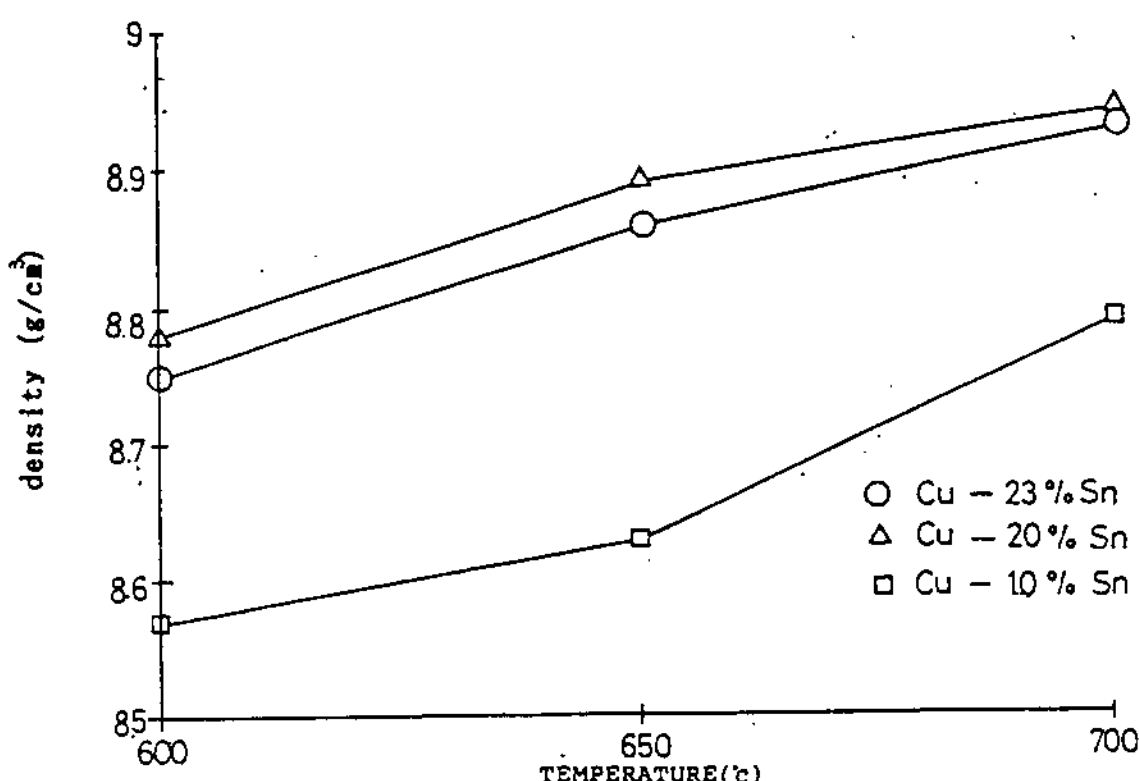


Fig. 3. Density of tin bronze alloy to the composition and temperature

함량이 많아질수록 그리고 온도가 높아질수록 커진다. 즉 Cu-10wt%Sn에서 최저밀도를, Cu-20wt%Sn에서 최고밀도를 갖는데 이것은 Goetzeli 연구한 고온압축시 밀도와 조성의 관계와 일치한다.<sup>13)</sup> 이러한 현상을 규명하기 위해 파단면을 조사한 바 Photo 4, 5, 및 6에서 보인바와 같이 조직내부에 존재하는 porosity에 기인하는 것으로

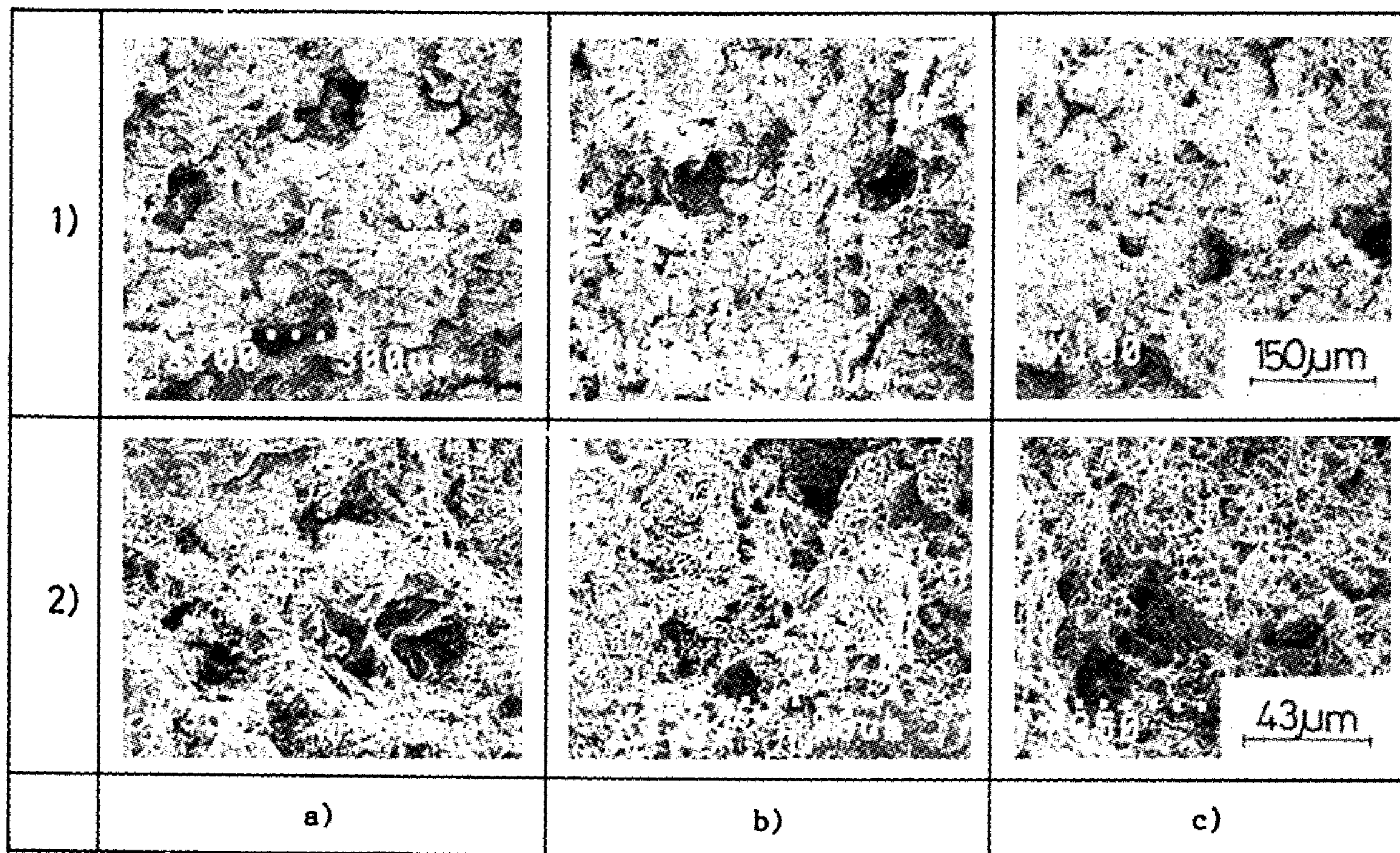


Photo 4. Rupture photographs of Cu-10wt% Sn sintered at a) 600°C b) 650°C c) 700°C



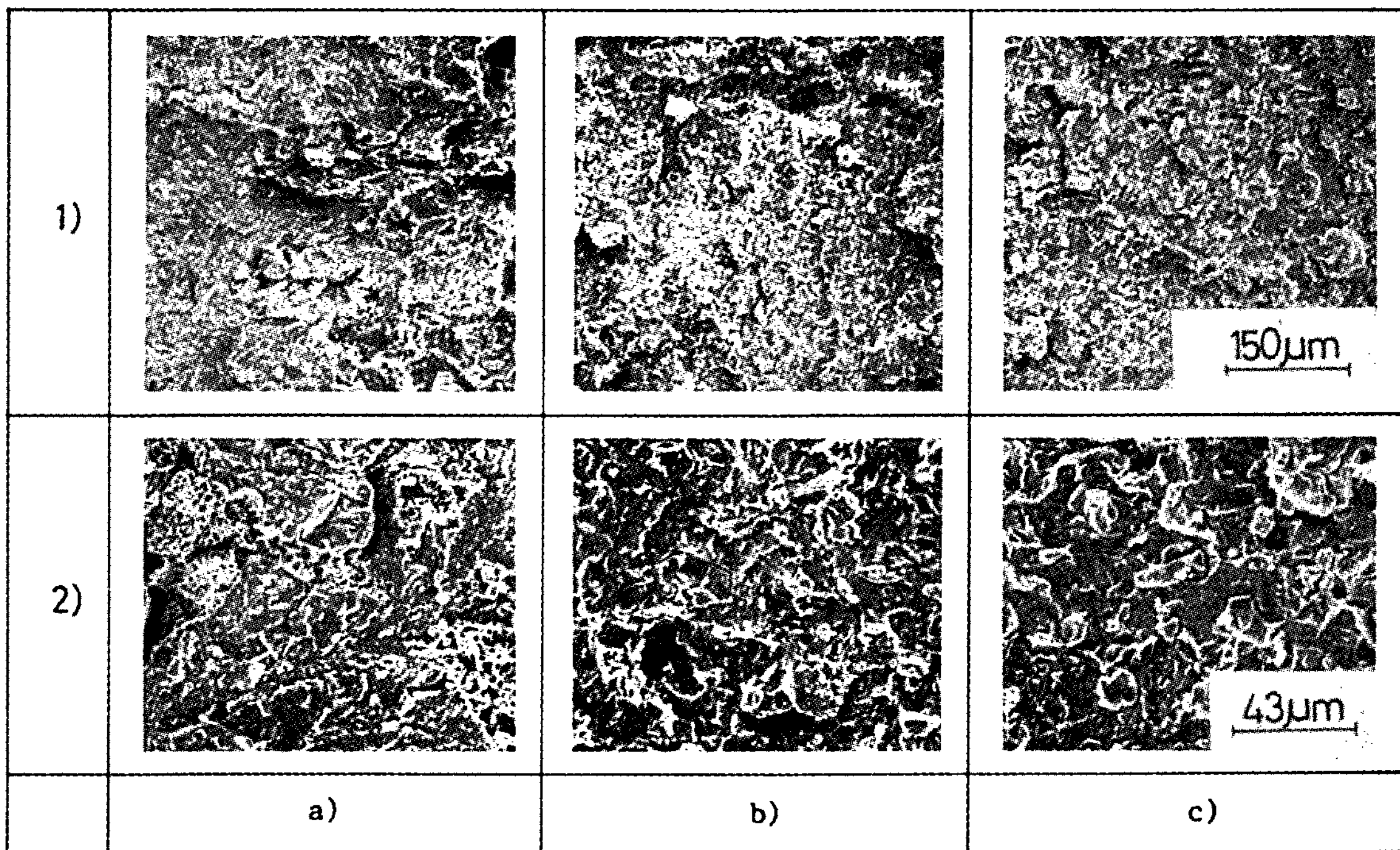


Photo 5. Rupture photographs of Cu-20wt% Sn sintered at a) 600°C b) 650°C c) 700°C

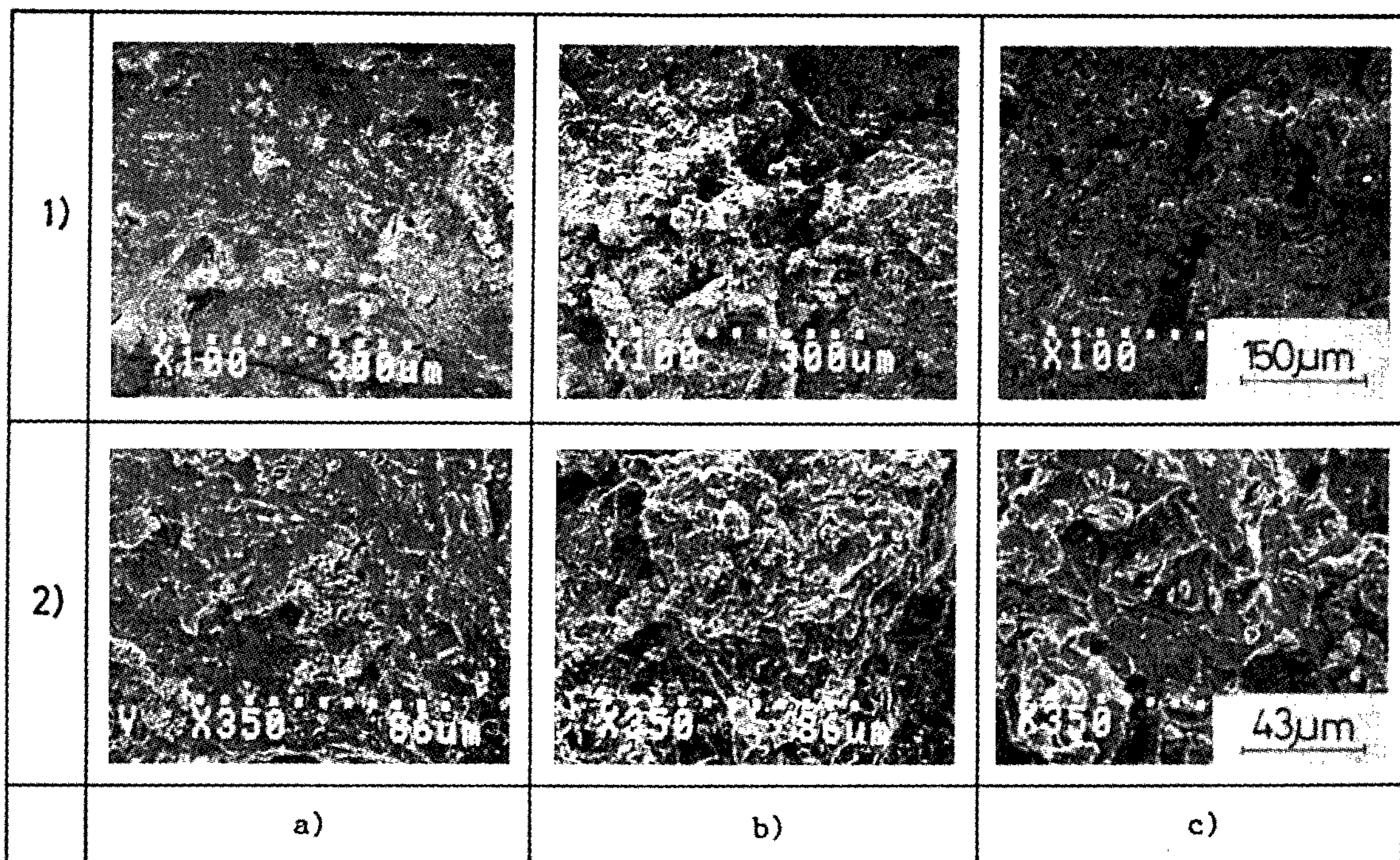


Photo 6. Rupture photographs of Cu-23wt% Sn sintered at a) 600°C b) 650°C c) 700°C

생각되는데 Cu-20wt%Sn, Cu-23wt%Sn의 경우는 미세 porosity에 의한 정상밀도를 갖고 있으며 이것은 Cu-Sn의 젖음성이 좋은 고-액결합보다 젖음성이 좋지 않은 Cu-Cu결합이 지배적이어서 불규칙 형상을 가진 Cu-Cu결합의 불완전 접촉시 발생하는 큰 porosity가 전체의 합금밀도를 낮추기 때문이며 온도의 상승에 따라 고상확산에 의해 치밀화가 이루어져 이론밀도에 접근하고 있었다.

Fig. 4는 항절력을 나타내었다. 항절력은 2ton의 하중에 대한 값으로써 Cu-10wt%Sn의 경우 다른 조성에 비해서 항절력이 상당히 큰것으로 보아 인성이 큰  $\alpha$ 상으로 존재하고 있기 때문인 것으로 보인다. 20wt%Sn과 23wt%Sn의 경우 변태로 인하여 인장강도가 높은  $\alpha + \beta$ 의 존재로 10wt%Sn에 비해 작은값을 보였으며 항절력은 ductile 할수록 높아짐을 알 수 있었다.

Fig. 5는 인성과 상반되는 물성치인 경도에 대하여 나타내었다.

ductile할수록 경도가 낮아지는 것을 알 수 있으나 온도에 따른 경도의 차이는 없었다. 이것은 rockwell 압자가 1/16" steel ball로서 넓은 범위의 시편을 압축하게 됨에 따라 온도에 따른 미세 grain size변화와는 관계가 없음을 알 수 있었다.

### 3.3 Wheel의 유리연삭 특성

Photo 7은 본 실험에서 사용한 다이아몬드지립의 주사전자현미경에 의한 모양을 나타내었다. 본 실험

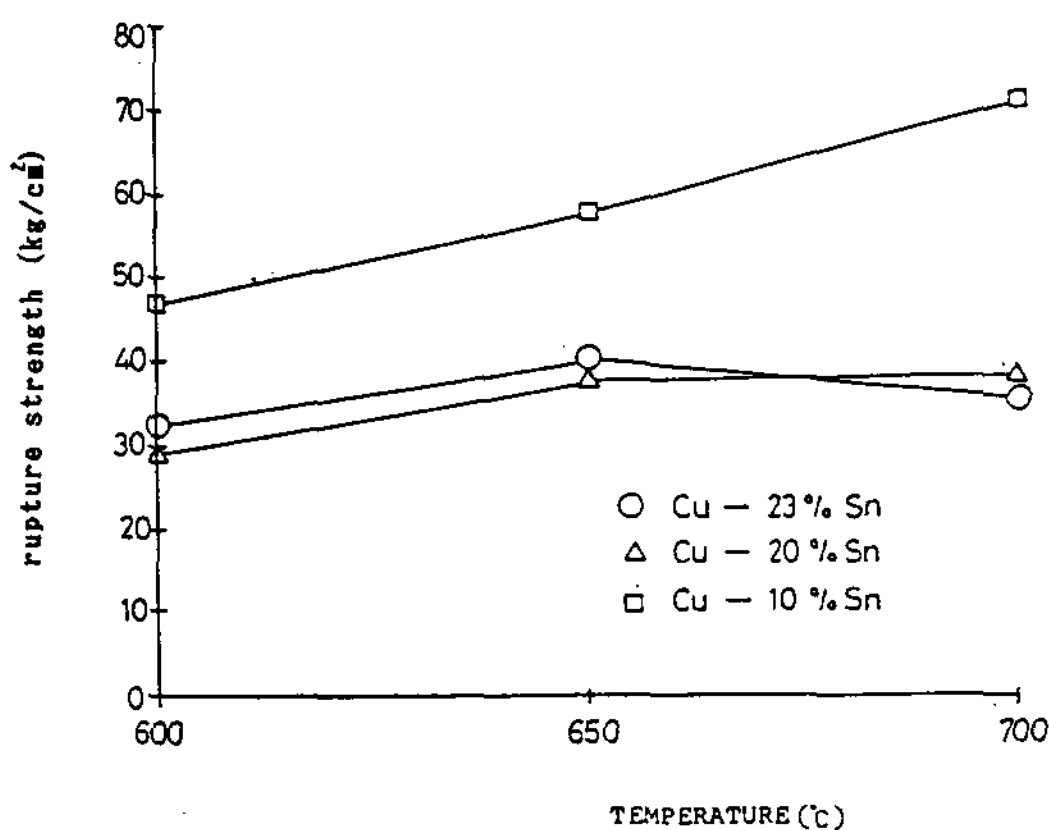


Fig. 4. Rupture strength of tin bronze alloy to the composition and temperature

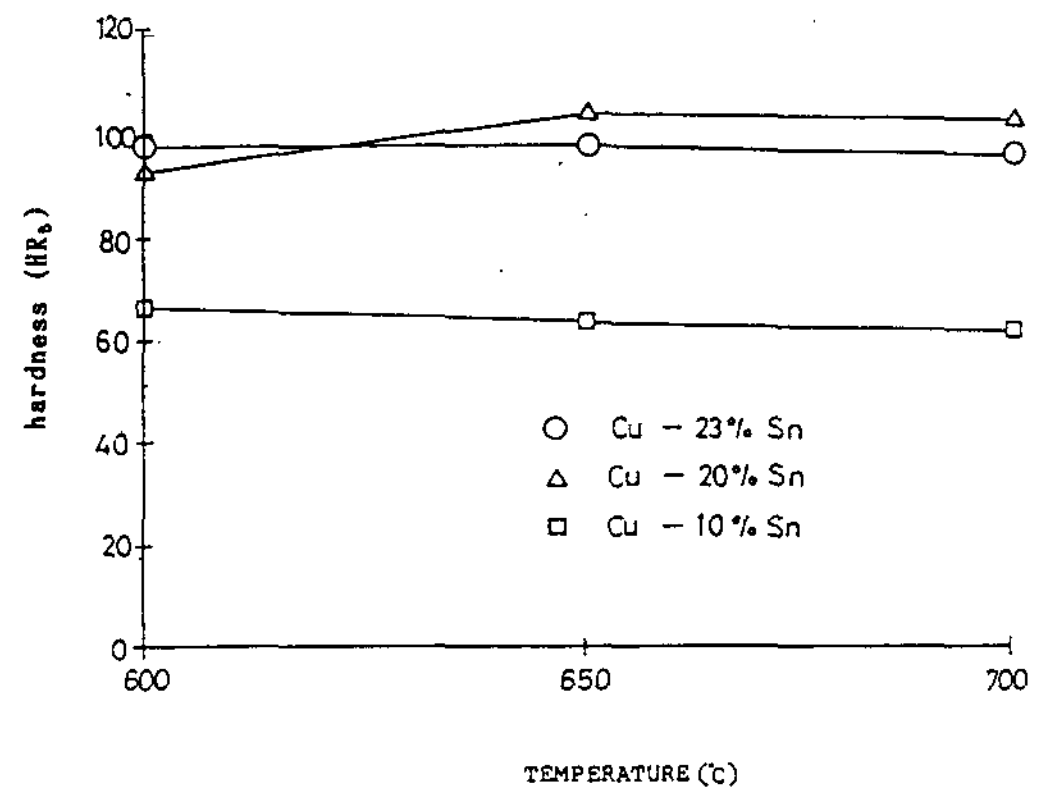


Fig. 5. Hardness of tin bronze to the composition and temperature



Photo 7. Shape of diamonds

험에서는 다이아몬드지립이 지나치게 경질이기 때문에 다이아몬드지립과 Cu-Sn기지가 혼합된 복합조직은 제조조건에서 준비하지 못했다. 메탈 본드용의 다이아몬드휠을 만들면 Cu-Sn기지와 다이아몬드지립 사이에 화학반응이 없기 때문에 단순한 기계적 결합 형태가 된다(14~16).

600°C와 700°C사이에서 소결한 다이아몬드 wheel을 가지고 유리를 연삭한 결과 Fig. 6에서 보인바와 같이 기지합금의 조성이 Cu-10wt%Sn이고 650°C에서 소결한 wheel이 가장 큰 연삭비를 나타내었다. 이것은 중간정도의 ductility를 갖는 합금사용시의 경우였으며 Photo 1 b) 에서 보여지는 바와 같이 Cu-Sn의 고-액결합과 Cu-Cu의 고상결합이 적절히 분포되어 너무 hard하지도 않고 ductile하지 않은 조직이 연삭휠에서 가장 이상적이라는 것을 알 수 있었다. 이것으로 wheel 연삭시 다이아몬드를 잡고있는 결합제가 파쇄된



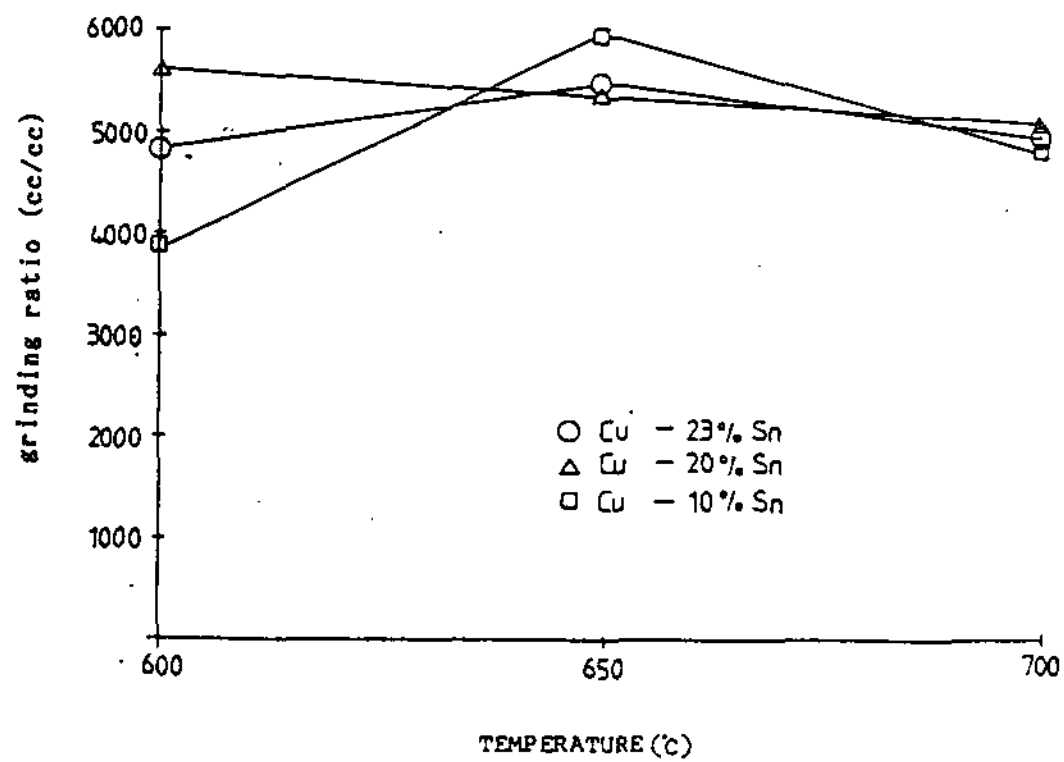


Fig. 6. Grinding ratio of tin bronze bonded diamond wheel

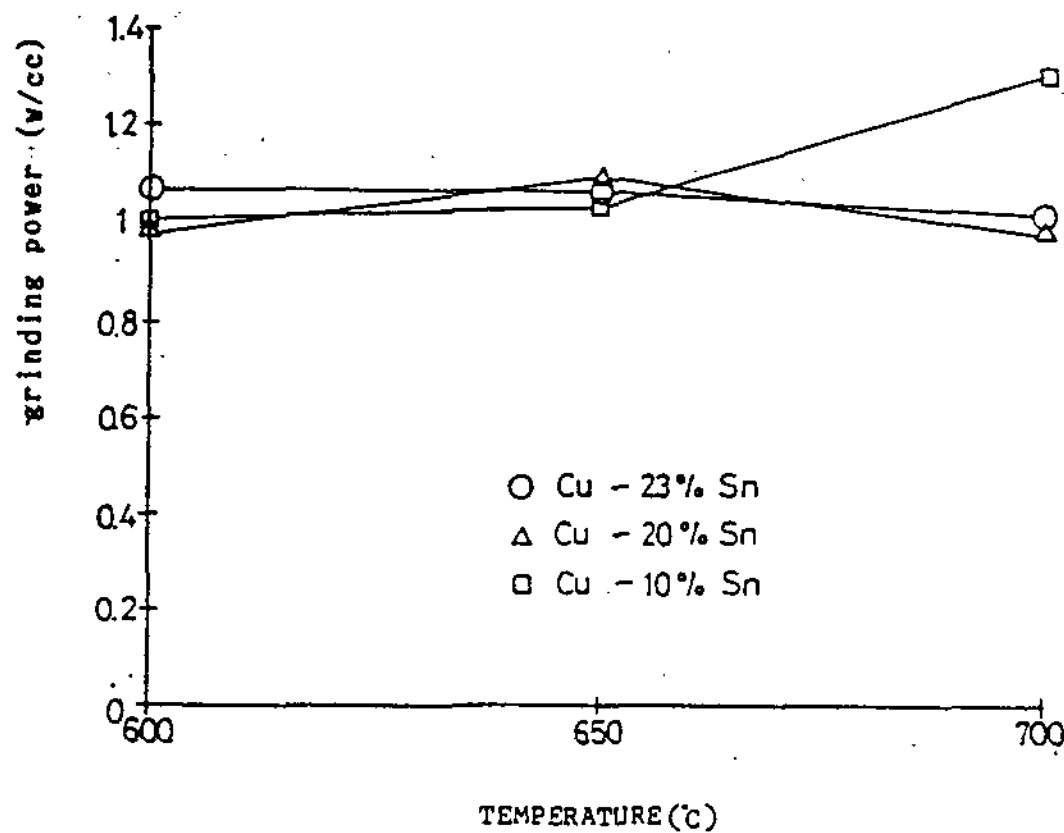


Fig. 7. Grinding power of tin bronze bonded diamond wheel

다이아몬드 및 유리가루에 의해 적절히 마모되어져 새로운 다이아몬드를 원활히 노출시키기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 600°C에서 소결한 휠들의 연삭비는 상당한 차이를 보이고 700°C에서 소결한 휠들의 연삭비는 거의 같음을 알 수 있는데 이렇게 합금의 물성치에 따라 일정한 경향을 알 수 없는 것은 기지합금, 다이아몬드, 피삭재인 유리가루가 변수가 되어 그 마모기구가 상당히 복잡하기 때문인 것으로 생각되었다.

유리를 1cc 연삭하는 동안 필요한 동력을 알아보기 위해 연삭동력을 측정하였으며 Fig. 7에 기지의 조성과 wheel 소결온도에 따른 연삭동력을 나타내었다. 연삭동력은 연삭작업하는 데 있어서 다이아몬드 wheel에 걸리는 부하의 정도를 알 수

있기때문에 연삭비와 비교하여 연삭성을 알 수 있는 factor로써 활용된다.

기지의 조성이 Cu-10wt%Sn이고 700°C에서 소결한 wheel의 경우 연삭동력이 가장 높게 나타났는데 이것은 연삭시 다이아몬드 wheel의 loading 현상으로 전류치가 상승하여 일어난 것으로 판단되며 그외의 것은 거의 일정한 전류치를 보였다. 따라서 기지의 조성이 Cu-10wt%Sn이고 650°C에서 소결한 휠의 경우 연삭비는 6000으로 가장 높게 나타났으며 이에 따른 연삭동력은 다른 시험 휠과 차이가 없으므로 보아 가장 성능이 좋은 휠로 판단되었다.

#### 4. 결론

메탈본드 다이아몬드 wheel의 기지재료로써 쓰이고 있는 주석 청동합금의 조성을 Cu-10wt% Sn, Cu-20wt%Sn, 및 Cu-23wt%Sn으로 하고 소결온도를 각각 600°C, 650°C 및 700°C로 달리하여 소결한 시편의 조직을 관찰하고 특성을 측정하였다. 이것을 결합제로한 메탈본드 다이아몬드 wheel을 가지고 유리의 연삭 시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주석청동의 소결후의 밀도는 8.5-8.9g/cm<sup>3</sup>의 값을 보이고 각조성에서 소결온도가 올라감에 따라 밀도값은 커진다. 기공에 의해 Cu-10wt% Sn의 밀도가 가장 낮았다.
- 2) 항절력은 Cu-10wt%Sn이 가장 큰값을 가지고, 소결온도가 올라갈수록 높아지고 있었다.
- 3) 경도는 Cu-20wt%Sn합금이 가장 높았으며 소결온도의 변화에 따른 경도값은 큰 변화가 없었다.
- 4) wheel의 연삭비는 중간정도의 인성을 갖는 Cu-10wt%Sn, 650°C에서 소결한 휠의 경우가 가장 높게 나타났다.
- 5) wheel의 연삭동력은 소결온도에 따라 큰 차이는 보이지 않지만 Cu-10wt%Sn, 700°C에서 소결한 휠의 경우가 가장 높았다.

#### 참 고 문 헌

1. S.F.Krar, E.Ratterman : "Superabrasive, McGraw-Hill(1990)
2. 倉田 豊 : "ダイヤモンド ツール, 日經技術圖書(株)(1987)



3. 深尾良郎: "NEW DIAMOND" No. 9 (1988) P.45
4. Frank Hughes: "Diamind grinding of metals, (1978)
5. ASM: "Metals handbook, 8, (1978)
6. General Electric man-made diamond catalogue
7. 實踐教育研會編: "機械工學基礎實驗, 基礎編, 工業調査會(1989) P.66
8. 實踐教育研會編: "機械工學基礎實驗, 試驗編, 工業調査會(1989) P.32
9. John wilks and Eillen wilks: Properties and Applications of Diamond Butter worth and Heinemann(1991) P. 439
10. K.B.Lewis and W.F.Schleicher: "The grinding wheel(1976) P. 218
11. 李鍾南, 文仁炯: "粉末冶金學, 光林社(1990) P. 120
12. 日本熱處理 技術協會編: "入門・金屬材料と組織, 大河出版(1984) P. 69
13. 榛葉久吉, 三谷裕康: "粉末冶金學, コロナ社(1985) P. 110
14. 吉川昌範: "やさしいニューダイヤモンド, 工業調査會(1991) P. 34
15. Clayton F. Gardinier: "Physical Properties of Superabrasives, ceramic bulletin 67, 6, (1988) P. 1006
16. J.L.Metzer: "Superabrasive grinding, Butterworths(1986) P. 36