論 文

금형소재용 동합금의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 첨가원소의 영향

배진호 · 박종성 · 김명호

Effects of Alloying Elements on the Microstructure and Mechanical Properties of the Copper Forming Dies

Jin-Ho Bae, Chong-Sung Park and Myung-Ho Kim

Abstract

Effects of Si and Ni addition on the microstructure and mechanical properties of the Cu-12wt.%Al-5wt.%Fe-1wt.%Mn alloy have been investigated experimentally. Microstructure of the as-cast specimen is found to be refined markedly by additions of Ni and Si. By the addition of Ni, volume fraction of the κ phase is increased, but volume fraction of the γ phase is decreased. Hardness is increased with the addition of Ni, due to increasing of κ phase which is harder than γ phase. However, Charpy impact value is not significally decreased possibly due to the formation of isolate κ phase.

(Received February 19, 1998)

1. 서 론

기존의 철계 금형소재를 사용하여 딥드로우잉(deep drawing)과 같은 가공 단계를 거쳐 제품을 성형할 경우, 철계 금형소재의 낮은 열전도특성으로 인하여 금형과 가공소재 사이에서 발생하는 마찰열이 외부로 충분히 방출되지 못하므로 금형의 마모손상과 제품의 표면특성에 악영향을 가져왔다. 그로 인하여, 연마 공정과 같은 추가적인 공정의 도입으로 인하여 생산성 저하 및 생산단가의 상승을 유발시켜왔다. 따라서 70~80년대 국내외적으로 이러한 철계 금형소재에 대한 대체재료 연구가 활발하게 진행된 바 있으며, 이러한 연구결과로 현재 외국에서는 고급 스테인레스 강판의 성형(forming), 혹은 인발(drawing)용 금형소재로서 copper base합금인 AMPCO계열 합금들이 상업적으로 개발되어 있는 상태이다[1, 2]. 한편 국내에서는 이러한 소재개발을 위한 지속적인 연구 부족으로 인해 현재 이러한 금형 소재 및 성형롤(forming roll), 가이드 부싱(guide bushings) 등의 기초소재는 대부분 수입에 의존하고 있다. 또한 국내에서 개발된 유사한 합금조성을 갖는 copper base 합금은 낮은 충격인성으로 인하여 제품의 충격파단현상이 심각하게 발생하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 합금조성 개량과 새로운 합금원소를 첨가하는 방안이 필히 고려되어야 할 것이다. 이에따라 본 연구에서는 최적의 경도 및 인성을 만족시킬 수 있는 제3원소(Si, Ni)의 첨가에 의한 합금설계를 시도하였으며, 주합금계는 Cu-Al-Fe으로 선정하였다. Si은 동합금에 고용되면 조성에 따라 여러가지 상변태를 일으키는 것으로 알려져 있다[5, 6]. 이러한 점에서 Cu-Al-Si계 합금은 주목되는 것임에도 불구하고 이에관한 연구는 거의 없을 뿐만아니라 몇가지 상반되는 결과가 보고되어 있는 실정이다[1-3]. 알루미늄 청동에 0.1 wt.%이상의 Si첨가는 침상의 α상을 석출시켜 인장강도의 증가없이 연신율을 감소시키며[7] 반면에 1.8%정도의 Si첨가는 Fe, Ni의 첨가와 마찬가지로 결정립 미세화에 유효한 것으로 알려져 있다[4]. 한편 Ni을 첨가하면 기계적 성질 및 내부식성이 불량한 γ상을 억제하고 κ상을 석출시켜 석출경화형 합금을 만들 수 있는 것으로 알려져있다[8]. 그리고 κ상과 γ상은 Fe와 Ni의

인하대학교 금속공학과 (Department of Metallurgical Engineering, Inha University)

비를 0.8~1.2로 유지할 때 가장 균질하게 분산된 세립의 조직을 얻을 수 있는 것으로 알려져있다[9, 10]. 따라서 이번 연구에서는 Si과 Ni을 첨가하여 미세조직과 기계적 성질의 변화를 고찰하여 보았다.

2. 실험방법

2.1 용해 및 주조

본 실험합금들은 고주파 유도용해장치를 사용하여 용해하였다. 이때 Cu 2 kg용량의 흑연도가니를 이용하여 6 KW power하에서 신속용해하였다. 주입직전 탈가스 처리제를 투입하여 탈산, 탈수소를 행하였으며, 30초간 용탕을 안정화시킨후 1180~1250°C에서 사형에 주입한 후 750°C에서 탈사를 하였다. 이때 주물의 냉각속도를 측정하기 위해서 용탕을 주입즉시 압탕상부에 10 mm정도의 깊이로 열전쌍을 설치한 후 3-pen recorder를 이용하였다. 측정결과, 주물 취출전인 750°C까지의 냉각속도는 0.35~0.45°C/sec.로 나타났으며, 주물 취출 후는 0.5~0.6°C/sec.로 측정되었다. 제조된 잉고트의 성분분석은 건식법으로 분석을 하였고 그 결과는 Table 1에 나타냈다.

2.2 미세조직 관찰, 기계적성질 측정

미세조직 관찰은 시편의 중심부를 절단하여 #100부터 #2000 사포까지 차례로 연마한후 1 μm의 diamond paste로 최종 연마한후 에칭액(NaCl포화용액 2 ml + $K_2Cr_2O_7$ 1g + H_2SO_4 4 ml + 증류수 50 ml)을 사용하여 10초간 부식시키고 광학현미경으로 관찰하였다. 로크웰 경도계(Rockwell hardness, C scale)를 이용하여 경도를 측정하였으며 이 값을 브리넬경도로 환산하였다. 충격인성은 샤르피 충격시험기를 사용하여 측정하였다. 각 시편의 경도측정은 동일한 부위에서 7회 측정 후 최대, 최소값을 제하고 평균값을 취하였다. 또한 영상분석기를 사용하여 각 상들의 정량화를 행하였다.

Table 1. Chemical composition of the experimental alloys

	Si	Ni	Al	Fe	Mn	Cu
SB1	1.01	3.17	12.02	4.79	0.80	Bal.
SB2	1.03	3.83	12.05	4.86	0.85	Bal.
SB3	0.99	4.67	12.21	4.49	0.74	Bal.
SB4	1.56	2.99	12.22	4.81	0.85	Bal.
SB5	1.55	3.74	12.09	4.44	0.73	Bal.
SB6	1.56	4.49	12.16	4.50	0.91	Bal.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 특성

먼저 본 실험합금계에서 생성될 수 있는 상들을 간단히 요약해 보면, 부식 저항성이 매우 높고 연한 상, 부식 저항성이 우수하고 적당한 경도 및 연성을 지닌 β상, β상보다 연성이 낮고 다소 경도가 높은 martensitic β상, 그리고 부식 저항성이 불량하나, 경도가 매우 높은 γ상 및 특정 합금원소의 첨가에 의한 κ상들로 구성될 수 있다[3, 4]. 그러므로 경도와 인성을 동시에 만족시키는 금형소재개발을 위한 최적합금설계 및 제조조건의 기초적인 자료확립을 위해서는 각 상들의 경도특성에 대한 정량화가 필수적이라 할 수 있다. 이에대한 실험결과치는 Fig. 1과 Table 2에 나타냈다. 각각의 α, β, γ, κ상에 대한 경도값은 미소경도계(Microvickers Hardness Tester)를 이용하여 550배의 배율 및 50 g의 하중하에서 측정한 것이다.

3.2 미세조직 관찰과 영상분석 결과

본 연구에서 설계한 실험합금의 전체적인 주방상태의 미세조직은 Fig. 2와 같이 관찰되었다. 또한 이들 실험합금에 대한 영상분석결과를 Fig. 3, 4에 나타냈

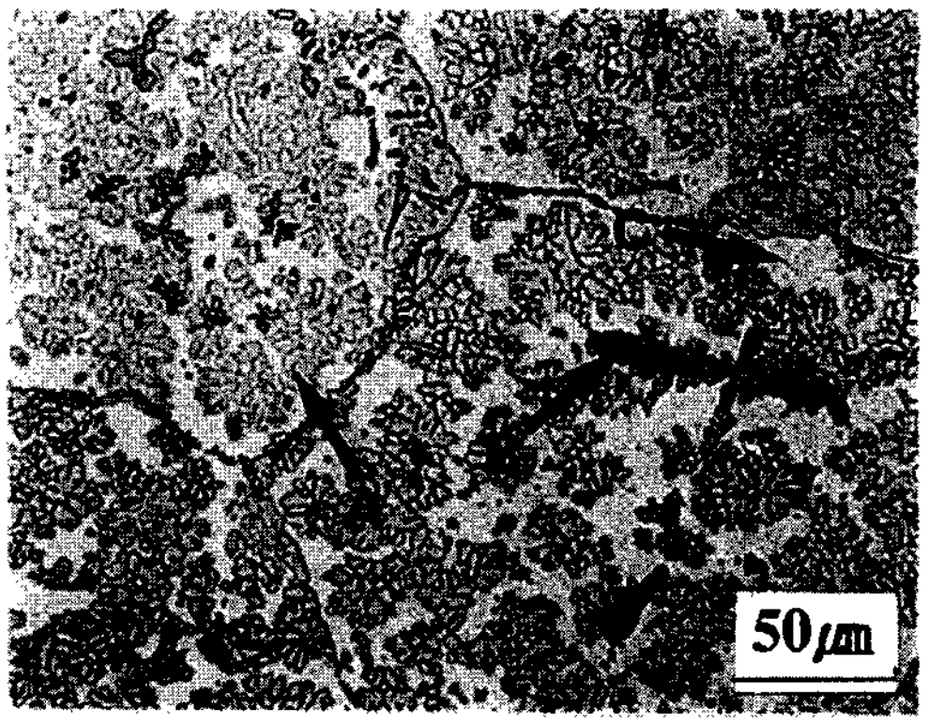

Fig. 1. Typical microstructure of the experimemtal alloy.

Table 2. Microhardness of the each phases

	Phase	Hv	HRc	HB
A	γ	586	55	551
B	κ	783	64	716
C	(α+β)	303 → 355	30 → 36	298 → 355

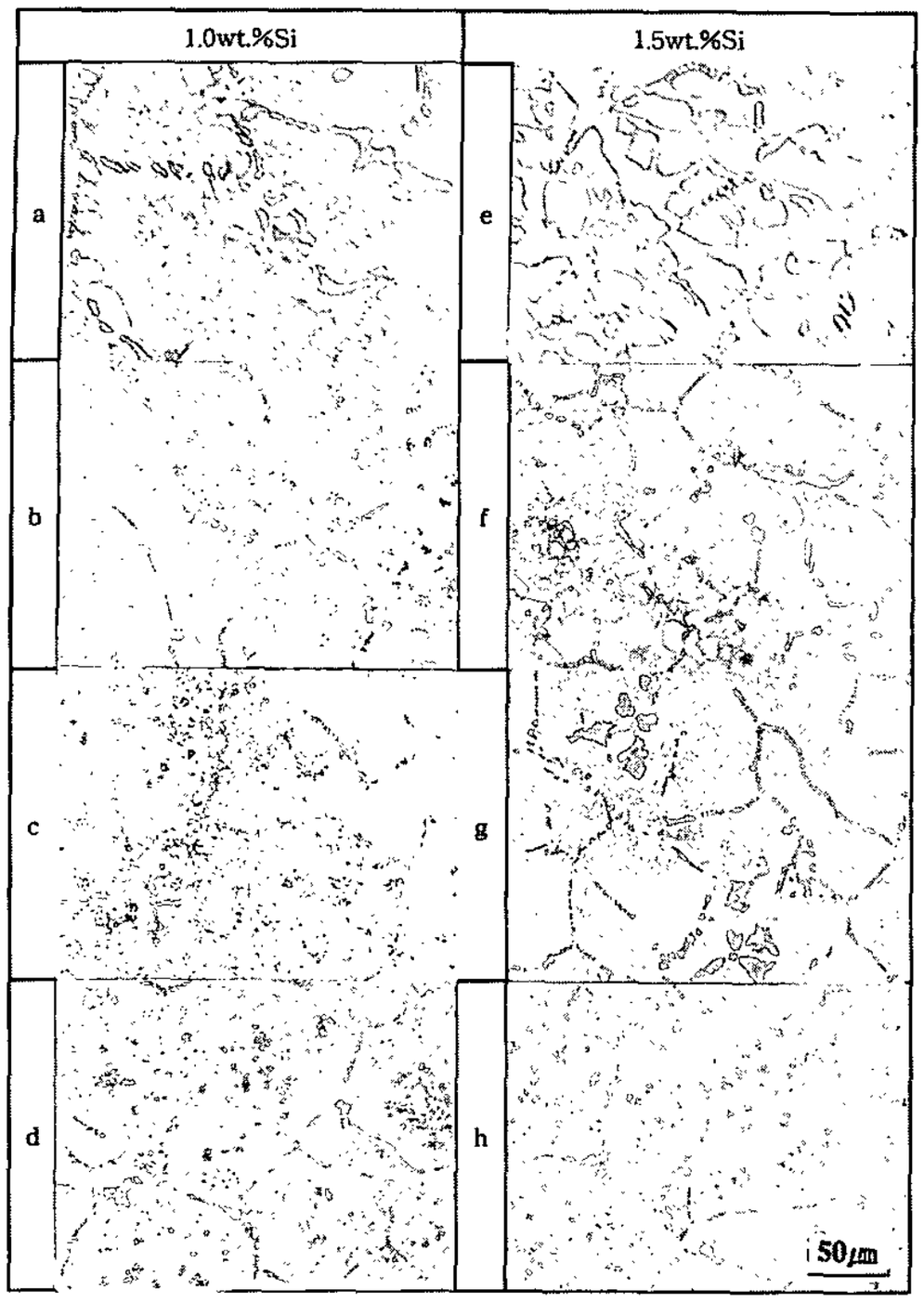

Fig. 2. Microstructure of the As-cast specimens.
a) No Ni added, b) 3.71wt.%Ni, c) 3.83wt.%Ni, d) 4.67wt.%Ni, e) No Ni added, f) 2.99wt.%Ni, g) 3.74wt.%Ni, h) 4.49wt.%Ni

다. 이를 고찰해 보면, Si함량이 1.0 wt.%, 1.5 wt.%일 때 Ni첨가량을 증가시킴에 따라 γ상 분율은 감소하면서 또 한편으로는 미세해짐을 알 수 있었다. 이는 Ni이 첨가되면서 κ상(NiAl, Ni_3Al)을 형성하게되어 γ상(Cu_9Al_4)을 형성하는데 필요한 Al량을 감소시킴으로서 γ상생성을 억제하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Ni은 기지조직인 Cu의 결정입을 미세하게 하는 데 유효하기 때문에 γ상과 κ상의 평균크기를 감소시키는 것으로 여겨진다[9, 10]. 또한 κ상은 침상으로 변화하면서 입계를 따라서 석출되었음을 알 수 있었다. 1.0 wt.%Si과 1.5 wt.%Si의 미세조직을 비교하면 조직내의 γ상과 κ상이 1.5 wt.%Si의 경우가 조대하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이는 Si의 첨가량이 증가하면 γ상생성을 촉진시킴에 기인한 것으로 생각된다[1, 2]. 그러나 두 경우 모두 Ni첨가량이 증가하면서 조대한 γ상이 미세화됨을 것을 알 수 있었다. 이는 Ni이 γ상과 κ상을 미세하게 분산시키는데 유효하다는 것을 보여주고 있는 것으로 판단된다.

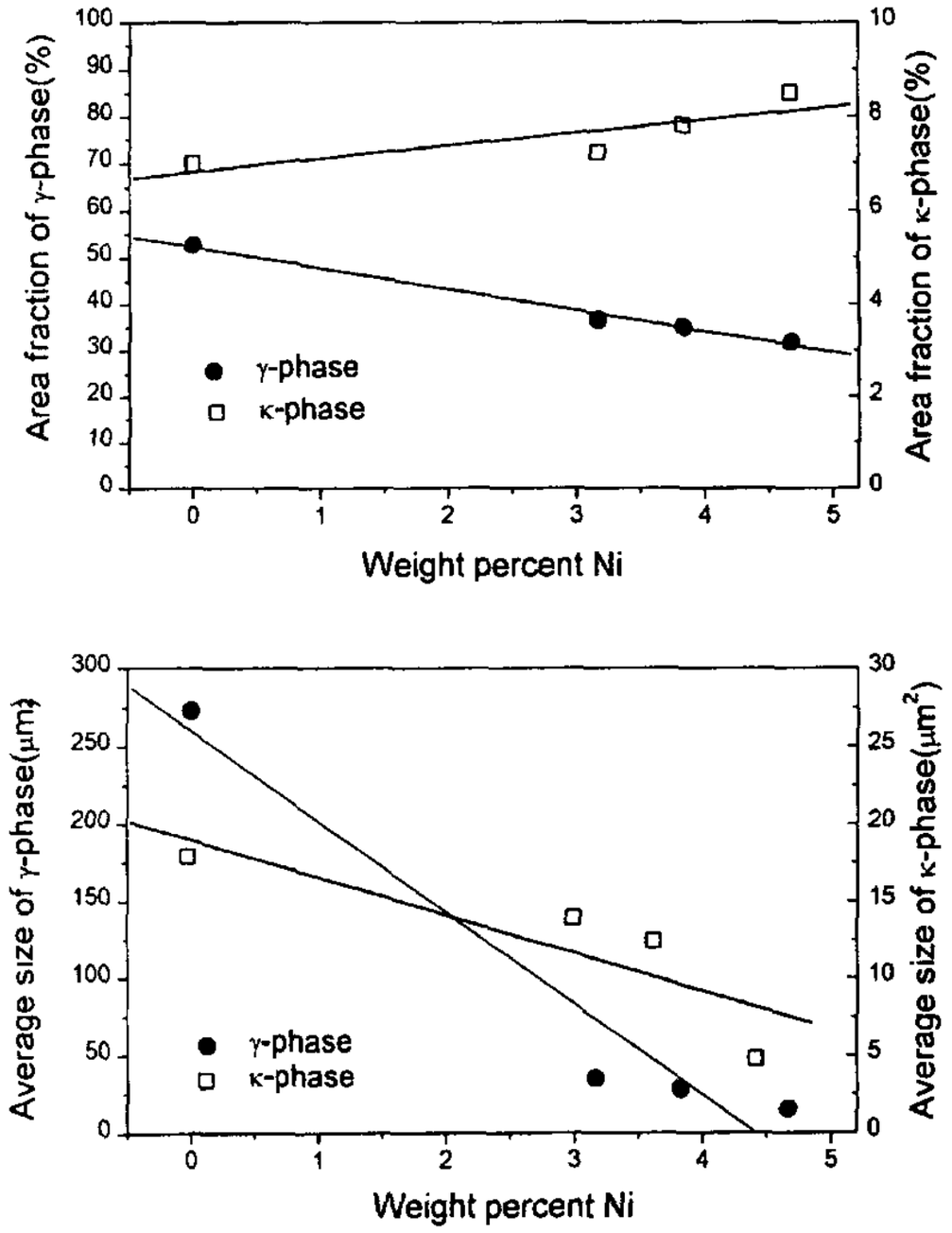

Fig. 3. Result of the image analysis of the Cu-12Al-5Fe-1Mn-1Si-xNi alloys.

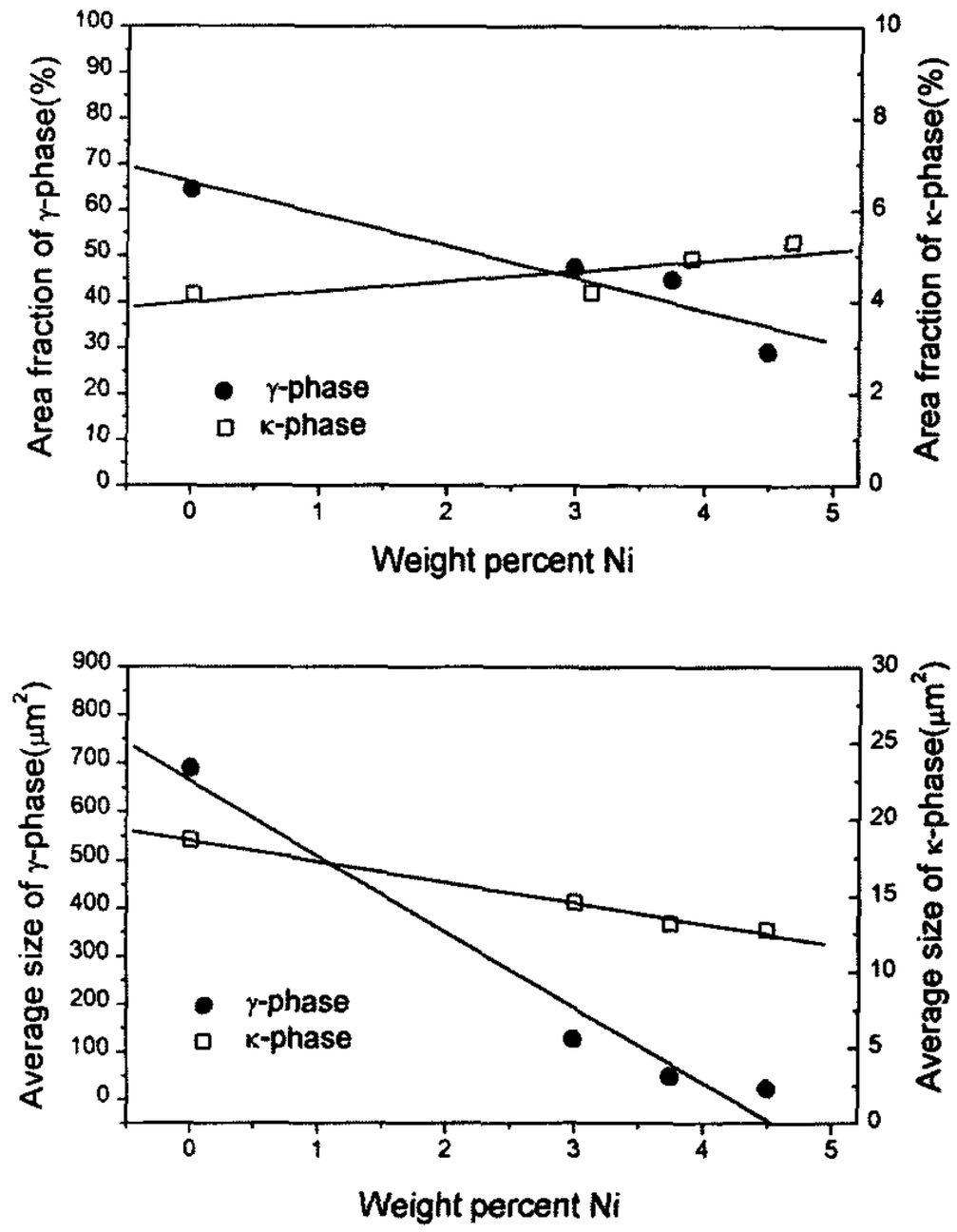

Fig. 4. Result of the image analysis of the Cu-12Al-5Fe-1Mn-1.5Si-xNi alloys.

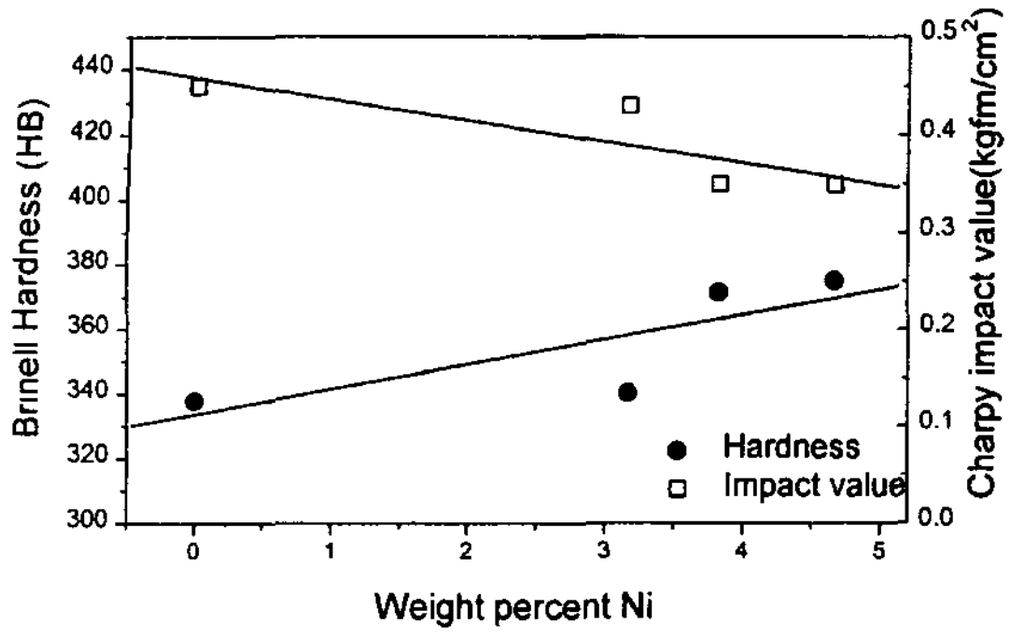

Fig. 5. Variation of the mechanical properties of the specimens with 1.0wt.%Si.

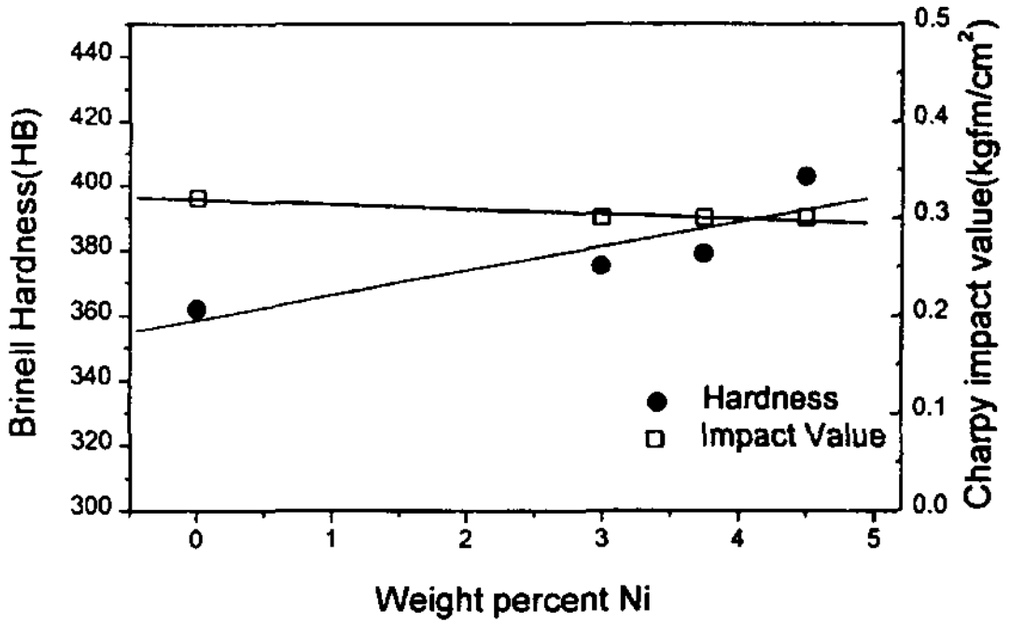

Fig. 6. Variation of the mechanical properties of the specimens with 1.5wt.%Si

3.3 기계적 성질

실험합금의 기계적 성질의 변화를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타냈다. 1.0wt.%Si일 때 Ni을 3 wt.%에서 4.5 wt.%로 증가시켰을 경우, 경도가 높은 γ상 분율이 감소하지만 γ상보다 더 경도가 높은 상인 κ상분율이 증가하기 때문에 γ상 분율 감소로 인한 경도손실을 보상하고 오히려 경도값을 325HB에서 375.3HB로 증가시킨 것으로 판단된다. 충격인성의 경우에는 금속간 화합물인 κ상분율이 증가하나 각각 고립되어 분산되어있고 또한 취성을 가지고 있는 γ상분율이 감소하기 때문에 충격값은 0.48 kgfm/cm^{2}에서 0.35 kgfm/cm^{2}로 크게 감소하지는 않는 것으로 여겨진다. 1.5wt.%Si일 때 Ni의 함량을 증가시켰을 경우에도 1.0 wt.%Si의 경우와 마찬가지로 Ni첨가량이 증가하면서 조대한 γ상이 미세화되면서, 고립되어 분포하는 것을 알 수 있었다. 이러한 이유 역시 전술한 것과 같은 이유로 인하여 경도값은 362HB에서 403HB로 높아지나 충격값은 0.3 kgfm/cm^{2}으로 거의 변화하지 않는 것으로 사료된다.

4. 결 론

Cu-12 wt.%Al-5 wt.%Fe-1 wt.%Mn 합금계의 미세조직과 기계적 성질에 미치는 Si과 Ni첨가의 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Si함량이 1.0~1.5 wt.%의 범위에서는 Ni을 3.0~4.5 wt.% 첨가하면 γ상과 κ상은 크게 미세화됨을 알 수 있었다.

2. Si함량이 1.0~1.5 wt.%의 범위에서 Ni함량이 증가하면 γ상 분율은 작아지고 κ상분율은 증가하였다. 이는 Ni이 첨가되어 κ상(NiAl)을 형성하게되어 γ상형성에 필요한 Al당량을 감소시킴에 기인한 것으로 여겨진다. 또한 κ상을 형성함으로 인하여 κ상 분율을 증가시킨 것으로 여겨진다.

3. Si함량이 1.0~1.5 wt.%의 범위에서 Ni함량을 증가시키면 γ상 분율은 감소하나 경도가 더 높은 κ상 분율의 증가로 인하여 경도값은 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 또한 충격값은 취성이 높은 κ상 분율의 증가에 의해 크게 저하되지는 않았으며, 이는 κ상들이 각각 고립되어 분포되어 있기 때문으로 여겨진다.

후 기

본 연구의 일부는 1996년도 인하대학교 교내 연구비 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] 강춘식, 권오양 : 대한금속학회지, 16 (1978) 180.
[2] 강춘식, 권오양 : 대한금속학회지, 18 (1980) 47.
[3] 山, 小林 : 日本금속학회지, 25 (1961) 393.
[4] 일본학술진흥회 : 日刊工業 マルミニウム青銅 (1967) 44.
[5] C. S. Smith : Trans AIME 137 (1940) 313
[6] W. R. Hibbard, Jr, G. H. Eichelman, Jr, : Trans AIME 180 (1949) 92.
[7] G. Bradshow, *et al.* : Morden Casting 38 (1960) 3, 67.
[8] Y. S. Sun, G. W. Lorimer, and N. Ridley : Metallurigical Transaction 21A (1990) 577.
[9] Lioud, D. M., Lorimer, G. W., Ridley, N. : Metals Technology (1980) 114.
[10] Crofts, W. L. J. : Casting, (1965) 25.