

|||||
論 文
 |||||

고강도 구상흑연주철의 내마모성에 미치는
 기지조직의 영향에 관한 연구

김복석*, 최창옥**

Study on the Wear Characteristics of the High Strength Ductile Irons

Bog-Suk Kim*, Chang-Ock Choi**

Abstract

This study has been carried out to investigate the difference of rolling life and rolling wear characteristics for various high strength ductile iron castings under unlubricative dry rolling condition by Amsler type wear test with 9.09% sliding ratio.

The tensile strength of the castings have been obtained 80, 90 and 100kg.f/mm² as cast-state with pearlitic, bainitic and martensitic matrix structures alloyed with Mo, Cu and Ni.

It has been found that the amount of rolling wear is decreased when the tensile strength and hardness of the castings are increased. The amount of rolling wear is increased, when the maximum compressive stress are increased. The maximum weight loss ratio of rolling wear of the castings are same at the 70000 numbers of revolution with out the maximum compressive stress.

1. 서 론

구상흑연주철은 강과 비교하여 용점이 낮고 주조성이 우수하여 복잡한 형상의 주물까지 제작이 용이하므로 자동차용 부품이나 일반 산업용 기계 부품등의 공업용재료로서 많이 사용되어지고 있다.

즉 구상흑연주철은 강에 가까운 높은 강도와 인성, 우수한 내식성 및 양호한 절삭성등 많은 이점이 있어 단강품이나 주강품으로부터 값이 싼 구상흑연주철로 재질의 대체가 많이 이루어지고 있는 실정이다.

최근 구상흑연주철의 고강도화에 대한 연구가 활발하여 인장강도 80~140kg·f/mm²의 오스탬퍼드 구상흑연주철(ADI)이 개발되어 이미 자동차용 기어나 크랭크 샤프트등에 실용화 하기 시작하였다.

그러나 오스탬퍼드 구상흑연주철은 열처리를 해야 하는 단점이 있으므로 열처리공정을 생략한 주방 상태에서 고강도를 갖도록 하는 연구가 시도되고 있는바, 본 연구에서는 합금원소로 Mo, Ni 및 Cu의 첨가에 의하여 기지조직을 변화시켜 주방 상태에서 인장강도 80kg·f/mm²이상의 고강도 구상흑연주철을 제조하고, 이들 재료에 대하여 반복하중을 받는 로링마모인 Amsler type 마모시험기에 의하여 건식 마모시험을 실시하여 마모특성을 조사 하였다.^{1~6)}

2. 실험방법

2-1. 시험편 제조

본 실험에 사용한 시험편은 구상흑연주철용 저 Mn주철을 고주파유도 용해로(용량 5.0kg, 10kw)

*태주실업(주)(Director, Tae Joo Ind, Co)

**동아대학교(Professor, Dept. of Metallurgical Engineering, Dong-A University)

Table. 1 Chemical composition of specimens(wt%)

Specimen	Comp.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cu	Mg	Ti	Al	Sn	Cr
SG 45		3.34	2.93	0.41	0.01	0.01	0.11	0.02	0.14	0.03	0.01	0.01	0.04	0.01
SG 80		3.35	3.34	0.64	0.02	0.02	0.93	0.51	1.51	0.03	0.02	0.02	0.06	0.05
SG 90		3.65	2.91	0.52	0.01	0.02	2.11	0.54	1.11	0.03	0.01	0.02	0.05	0.04
SG 100		3.50	3.16	0.61	0.01	0.02	3.03	0.55	3.01	0.04	0.01	0.01	0.06	0.04

에서 용해하고 Mn, Cu, Ni 및 Mo 등의 합금성분을 첨가하여, 재질별 목표성분으로 하였다. 또한 흑연구상화처리 방법은 5.0% Mg 합금철로 샌드위치법을 이용 하였으며, Fe-Si계 접종제로서 후접종을 실시하였다.

후접종 후 용탕을 CO₂형 주형에 1400~1450°C에서 주입하여 인장시험편(25mm^φ×350mm^l)과 마모시험편(35mm^φ×350mm^l)을 각각 주조 하였다.

주조한 시험편의 재질별 화학조성 분석결과는 Table 1과 같다

2-2. 실험방법

주방상태에서 현미경 조직검사는 마모시험편에서 채취하였으며, 또한 마모된 표면의 pit 발생 양상을 관찰하기 위하여 광학현미경과 주사전자현미

경(JSM-35CF)으로 표면의 상태를 관찰 하였다.

기계적성질 시험으로서 인장시험은 KSD 4호 시험편으로 가공하여 시험하였으며, 경도시험은 각 재질별 인장시험편 가공시 별도로 가공한 시험편으로 브리빌 경도계로 측정 하였다.

마모시험은 Fig. 1과 같이 마모시험편을 가공하여 Amsler type 건식 로링시험기(일본 Shimadzu, type2)를 사용하였으며, 두개의 시험편을 시험기의 상하축에 고정시킨후 이들 두개의 시험편이 회전함에 따른 마모량을 압축하중과 회전수의 변화에 따라 측정 하였다.

Fig. 2는 마모시험의 개괄을 나타낸 것으로서 상하 시험편의 회전수 차이는 727rpm과 800rpm으로 9.09%의 슬립율로 하였다.

두개의 시험편 조합은 상부시험편은 제조한 마

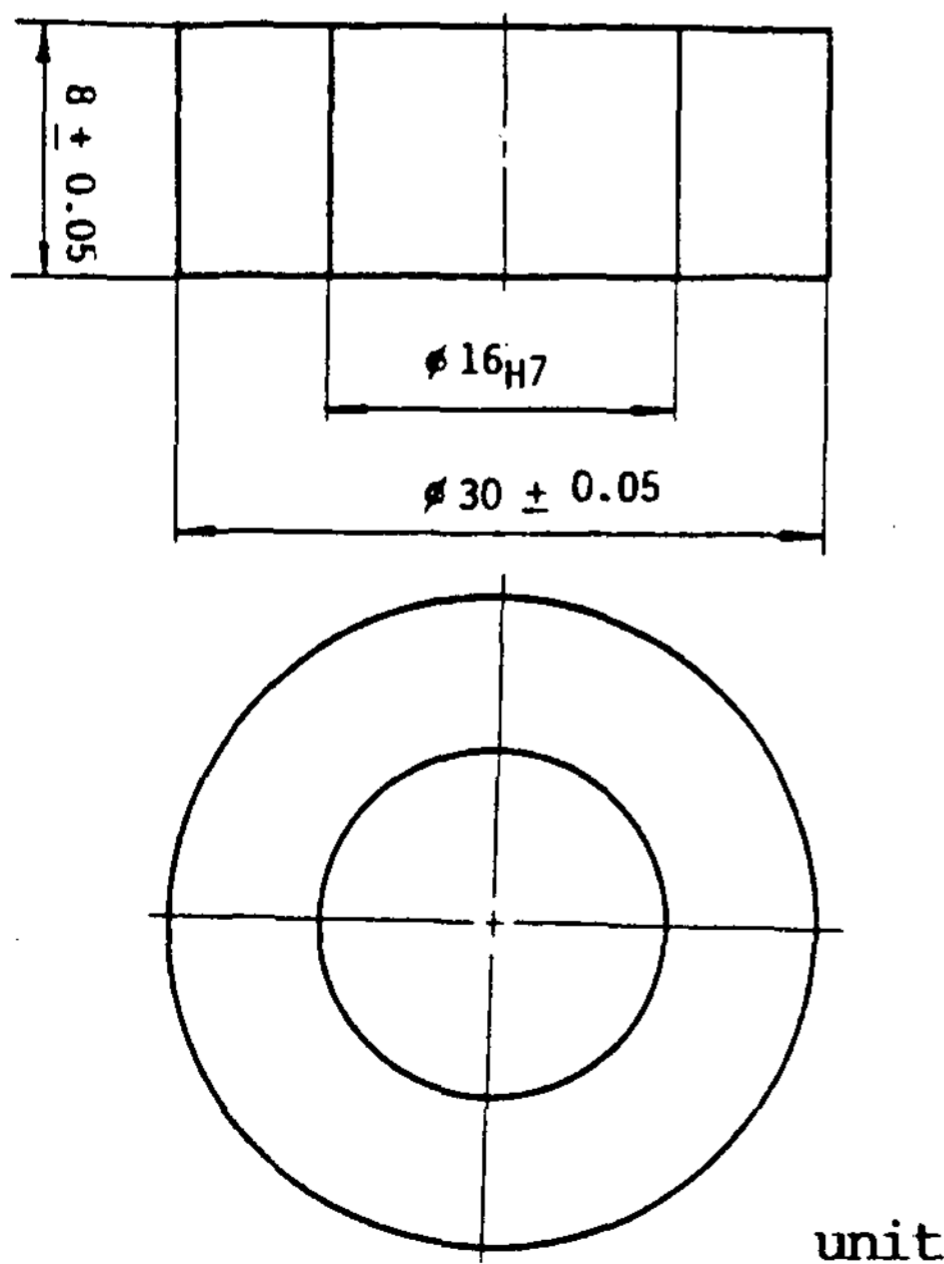


Fig. 1 Specimen of Amsler type wear test unit

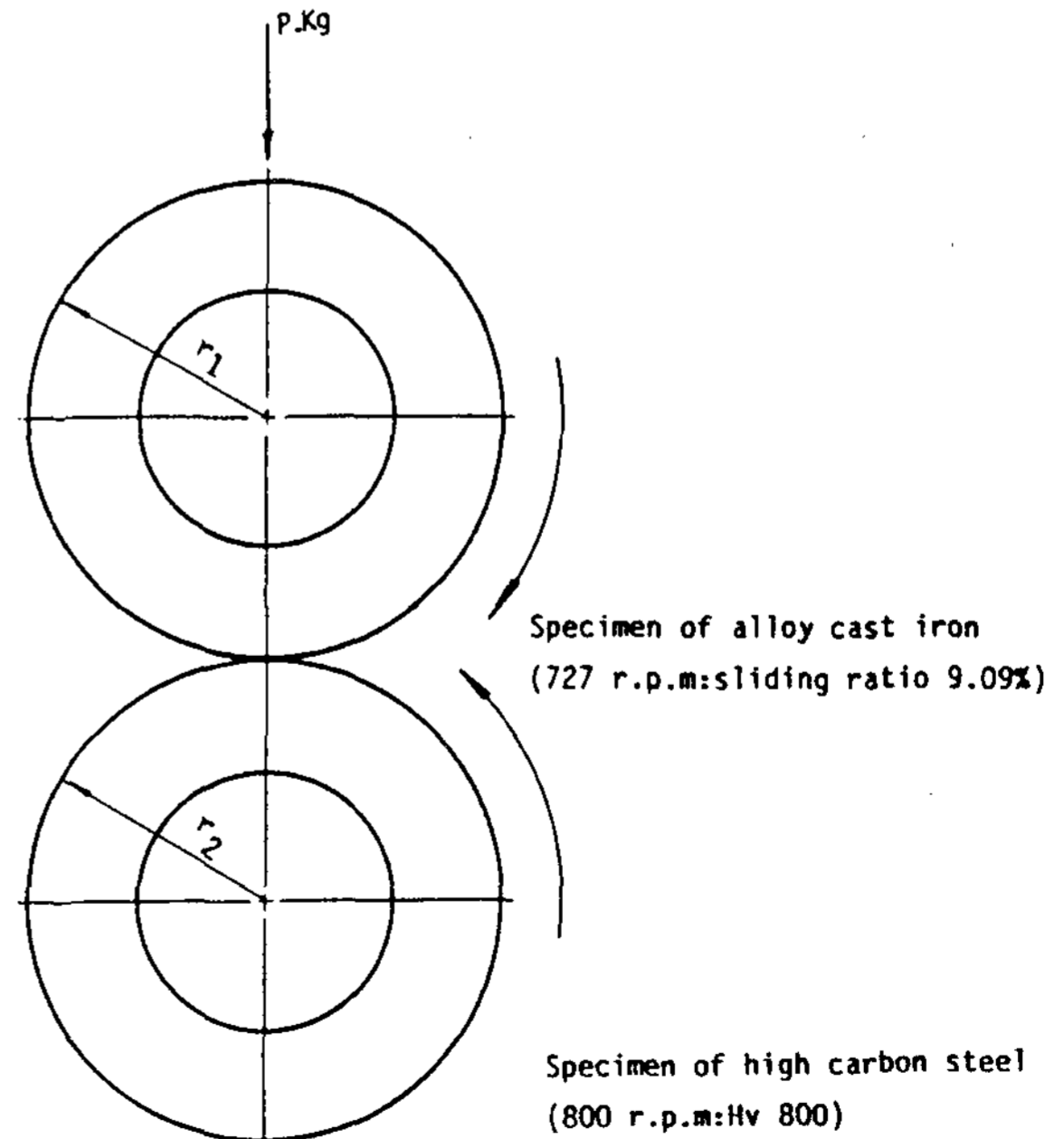


Fig. 2 Schematic representation of Amsler type wear test

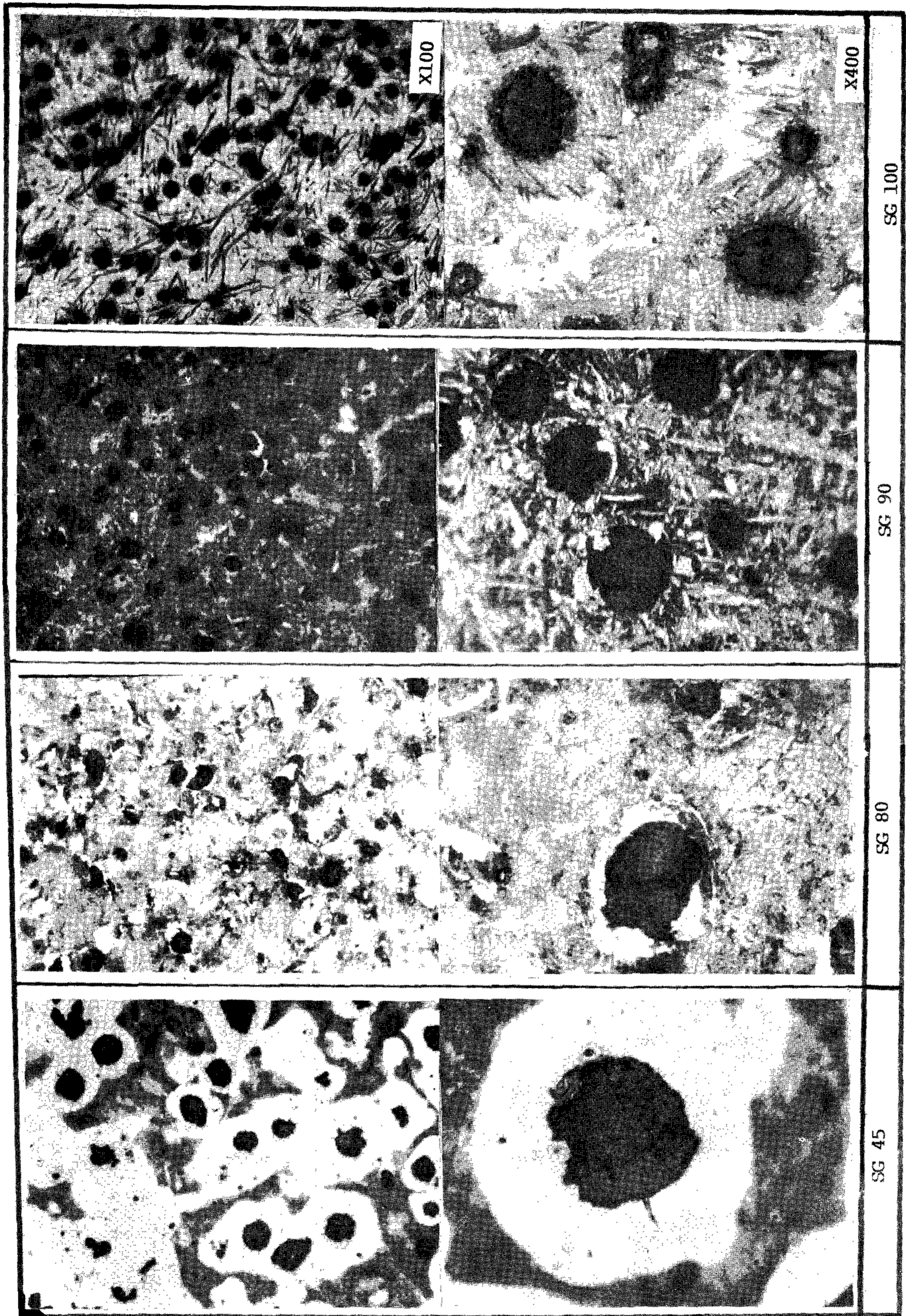


Photo 1. Microstructures of specimens for high strength ductile cast iron 0.2% nital etched

모시험편으로 하였으며, 하부시험편은 상대시험편으로 고탄소강으로서 경도는 Hv 800의 재질로 만들었다.

상하부 시험편의 마모면의 표면상태는 $R_{max}=4 \sim 5\mu m$ 정도로 연마를 하였으며, 이때 미끌림 마찰 속도는 0.78m/sec로 하였다. 또한 마찰시 윤활제를 사용하지 않는 건식마모를 실시 하였으며, 접촉하중은 30, 40, 50 및 60kg의 압축하중을 주어 압축하중에 따른 마모량 변화를 조사 하였다.

압축하중 P와 접촉면 내의 최대압축 응력 σ_{max} 의 사이에는 식(1)과 같은 관계가 있다.¹²⁾

$$\sigma_{max} = 0.418 \sqrt{\frac{P \cdot E}{b} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \dots \dots \dots (1)$$

여기서, σ_{max} : max. compressive stress(kg·f/mm²)

P : load

E : modulus of elasticity of test specimen (20,000kg·f/mm²)

r_1 : radius of upper side test specimen (15mm ϕ)

r_2 : radius of low side test specimen (15mm ϕ)

b : width of test specimen

압축하중에 따른 비교시험에는 식(1)로 σ_{max} 을 산출한 최대 압축응력으로 표시 하였다. 마모량의 측정은 시험편의 회전시험전의 무게와 회전후의 무게를 정밀천평으로 칭량 하였으며, 실험조건은 20°C의 상온과 30~60%의 습도조건 하에서 실시 하였다. 또한 실험은 마모시험기의 여러가지 상태를 관찰하면서 초기에는 1×10^4 회전에서 시험편의 마모량을 측정 하였으며, 그 후는 2×10^4 회전마다 동일한 방법으로 계속 11×10^4 회전까지 측정 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 합금원소에 의한 조직 및 기계적성질 변화 주방상태의 고강도 구상흑연주철의 재질별 현미

경 조직사진은 Photo. 1에 표시 하였다.

Photo. 1에 의하면 합금원소를 첨가하지 않은 SG45는 흑연주위에 페라이트가 등글게 나타나는 bull's eye 조직으로 퍼얼라이트기지 보다 페라이트기지가 많으며, SG80은 대부분 퍼얼라이트기지에 일부 베이나이트가 혼합된 조직을 나타내며, 그리고 SG90은 베이나이트, SG100은 침상의 마르텐사이트조직이 대부분 존재하고 있음을 관찰할수 있었다. 이러한 경향은 Mo, Ni 및 Cu는 CCT 곡선의 퍼얼라이트와 베이나이트 생성구역을 장시간쪽으로 이동하기 때문에 이들 합금원소의 첨가량이 증가함에 따라 기지조직은 페라이트+퍼얼라이트 → 페라이트+퍼얼라이트+베이나이트 → 베이나이트+마르텐사이트 → 마르텐사이트로 변화하는 것으로 사료 되었다.^{8,9)}

따라서, 합금원소들의 영향은 Cu는 철화 경향이 극히 적고, 흑연화 조장원소로서 퍼얼라이트를 치밀하게 하는 것으로 알려져 있다. Cu의 기지조직에 대한 영향은 그 량이 많은 고강도쪽으로 갈수록 퍼얼라이트화율이 높게 나타나며 Cu를 3%까지 높게 첨가해도 구상화율의 저하 현상은 나타나지 않았다.

Ni는 흑연화를 촉진하여 철화를 감소함과 동시에 퍼얼라이트를 미세, 치밀하게 하기 때문에 Ni 량이 증가 할수록 퍼얼라이트화율이 높은 경향이 있었으며 흑연구상화율의 저하나 철화의 경향은 Ni 2.1%까지는 나타나지 않았다.^{6,7)}

Mo는 기지조직을 베이나이트화 하는데 큰 효과가 있지만 탄화물 형성 경향이 강하고 탄화물이 강도와 인성에 나쁜 영향을 미치므로 0.5%로 일정하게 첨가하였으며, 따라서 Ni 및 Cu의 량이 증가 할수록 베이나이트 및 마르텐사이트량이 증가 함을 알 수 있었다.

S. Shibutani¹¹⁾에 의하면, 이는 Mo, Cu 및 Ni 합금원소의 첨가량에 의하여 기지조직을 변화시킬 수 있음을 발표한 결과와 일치 하였다.

주조한 시험편의 기계적성질 시험결과를 Table 2

Table. 2 Mechancial Properties of Specimens

Specimen	Tensile strength(kg·f/mm ²)	Hardness(H _B)	Elongation(%)
SG 45	44.5	182	20
SG 80	86.4	277	1.2
SG 90	90.3	340	1.8
SG100	99.5	477	0

에 나타 내었다. Table 2에서 보인 바와 같이 Cu 및 Ni이 증가 할수록 인장강도 및 경도가 모두 높게 나타났으며, Cu 3%와 Ni 3%에서 인장강도 99.5kg·f/mm²으로 최대값을 나타 내었으나, 연신율은 거의 없는 상태로 이는 기지조직이 마르텐사이트에 의한 것으로 사료 되었다.

따라서 SG45 정도의 구상흑연주철재료에 Mo, Cu 및 Ni의 합금원소 첨가량에 의하여 기지조직의 변화로 주방상태에서도 기계적성질의 향상이 가능하였다.

3-2. 로링 회전수와 마모량과의 관계

슬립을 9.09%의 로링시험에 대하여 시험편의 회전수와 고강도 구상흑연주철의 마모량과의 관계를 최대압축응력 42, 48, 54 및 59kg·f/mm²에 대하여 측정된 결과를 Fig. 3에서 Fig. 6까지 재질별로 나

타 내었다. 회전수가 증가 할수록 그리고 최대압축응력이 증가 할수록 마모량이 증가하는 경향이 있었으며, 재질적으로는 인장강도가 증가 할수록 마모량은 감소하는 경향을 나타 내었다. 더우기 SG45 및 SG80은 10,000회전까지는 회전수에 큰 변화를 보이지 않았으나 30,000회전부터는 급격한 마모량 증가 현상을 나타내며 SG90 및 SG100은 급격한 변화없이 거의 일정한량으로 마모량이 증가 하였다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 회전수에 따른 마모량의 마모율(mg/10³rev)을 나타내었다. 초기마모는 정상 마모로서 마모율의 정도는 낮으며 회전수가 증가 할수록 마모율이 증가하나 마모가 계속 진행이 되면 오히려 감소하는 경향을 나타 내었다. 따라서 재질별 최대 마모율을 갖는 회전수는 7×10⁴ 회전으로 모두 일정 하였다.

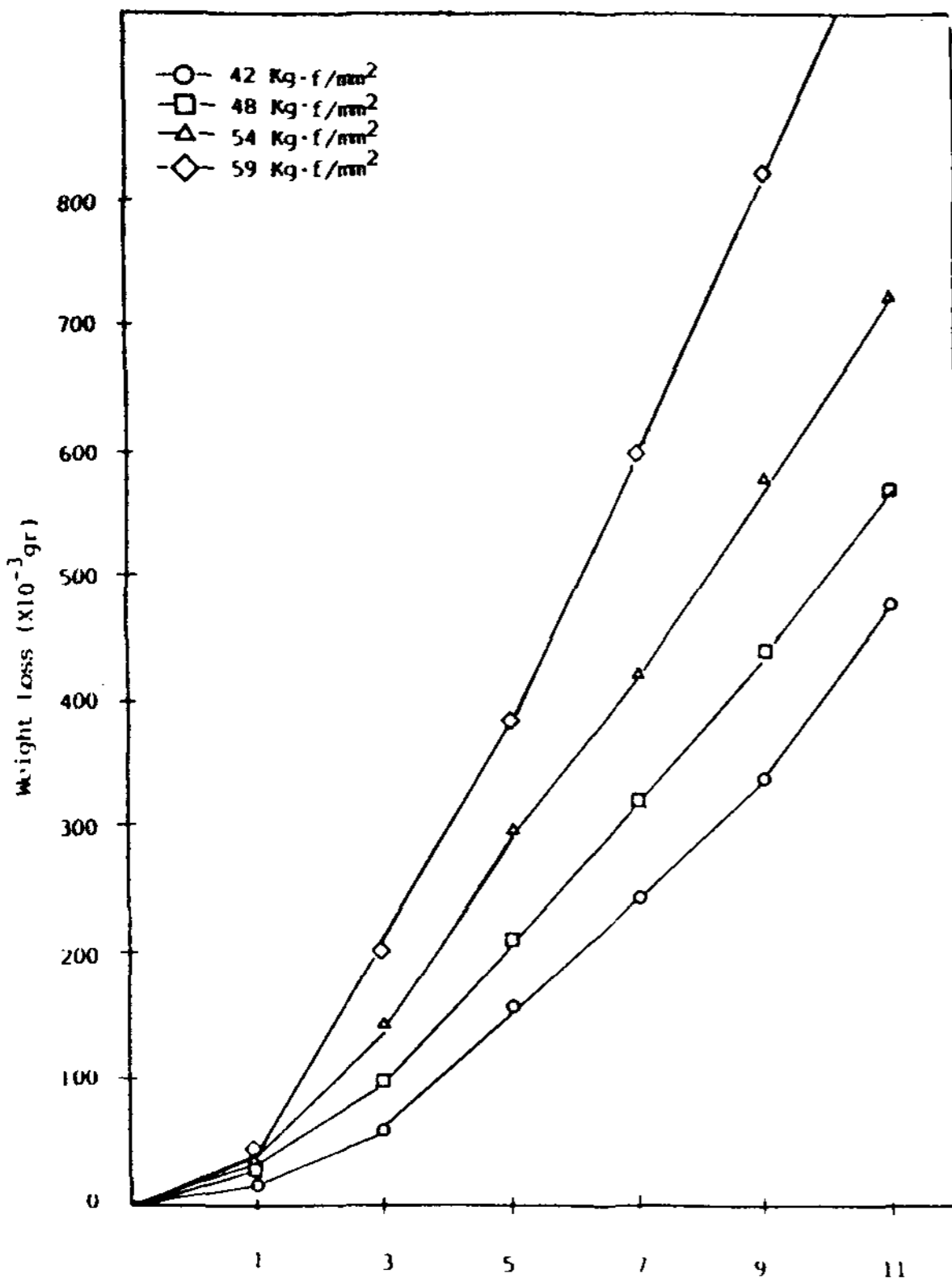


Fig. 3 Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of high strength ductile cast iron(SG 45), sliding ratio 9.09%

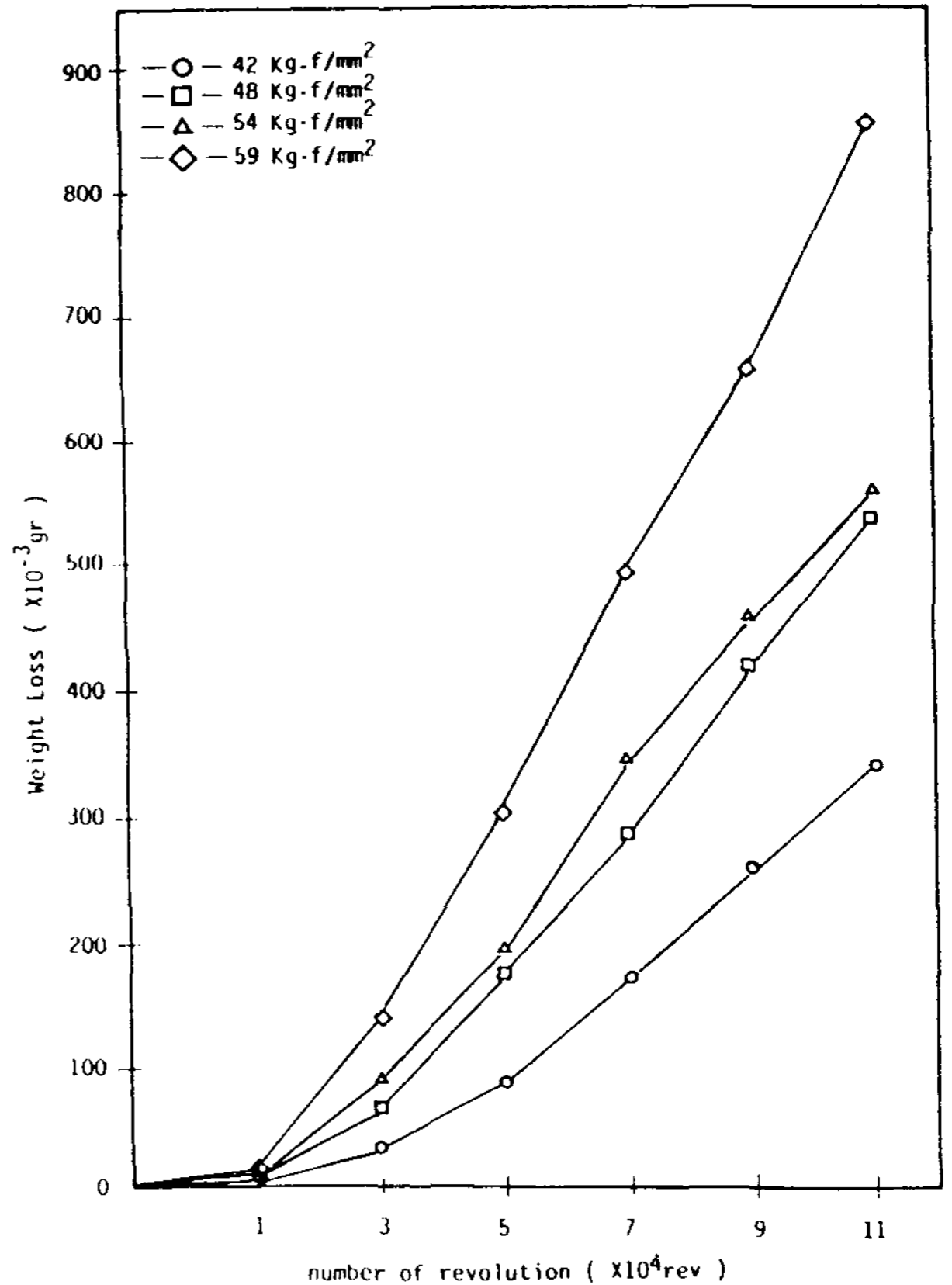


Fig. 4 Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of high strength ductile cast iron(SG 80), sliding ratio 9.09%

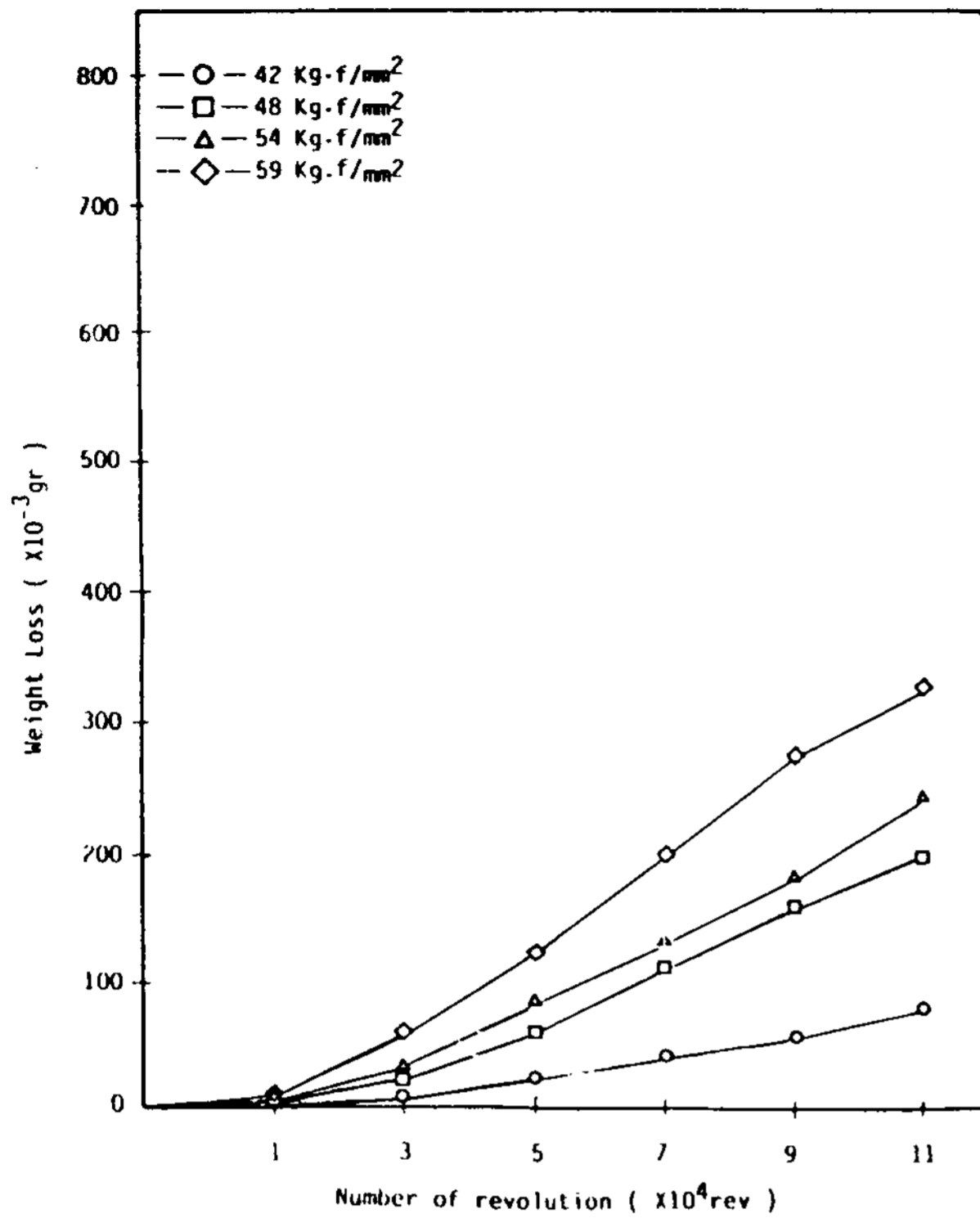


Fig. 5 Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of high strength ductile cast iron(SG 90), sliding ratio 9.09%

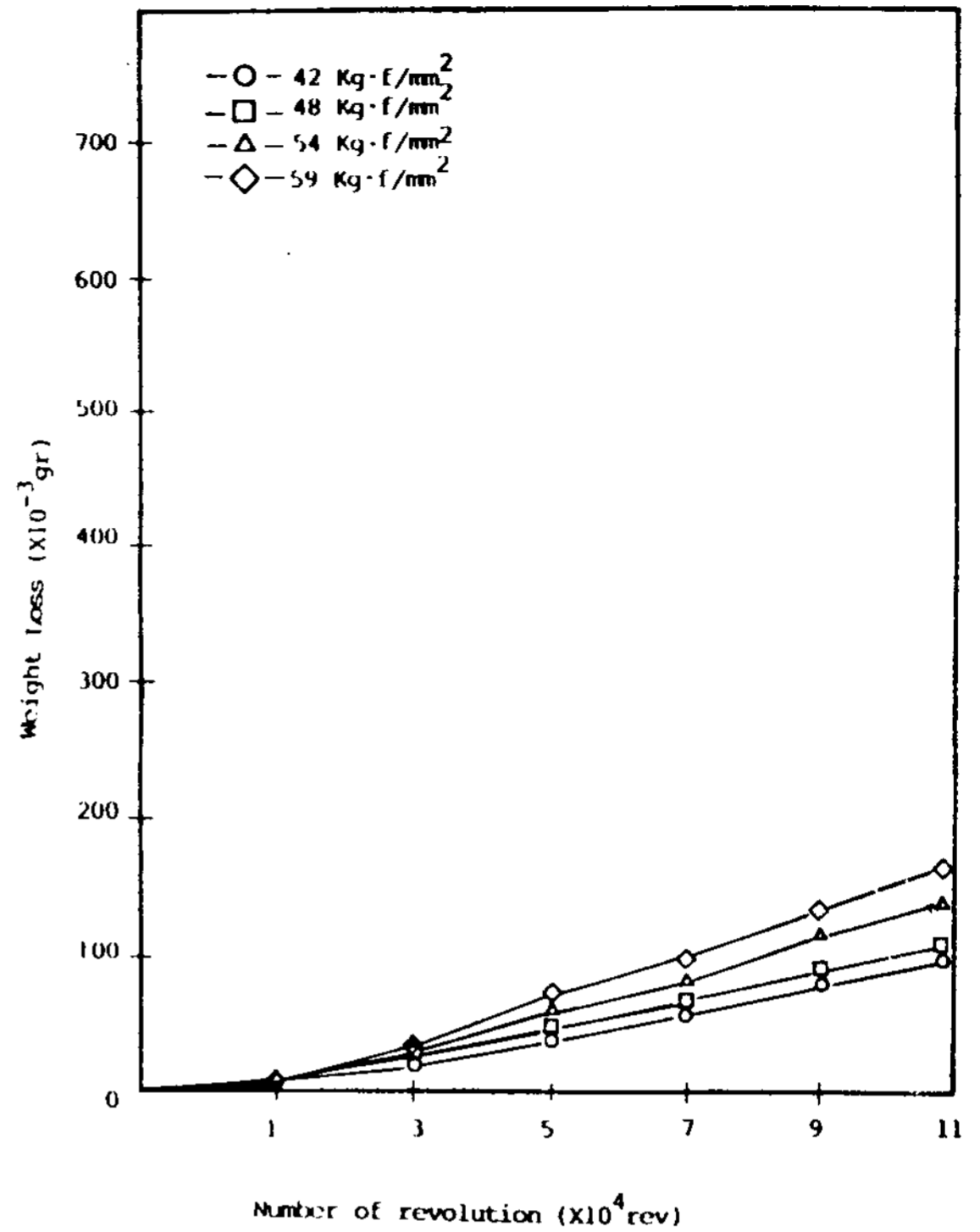


Fig. 6 Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of high strength ductile cast iron(SG 100), sliding ratio 9.09%

3-3. 로링마모에 미치는 경도 및 기조직의 영향

Fig. 9는 고강도 구상흑연주철의 경도에 따른 마모량을 나타 내었다. 고강도 구상흑연주철에 있어서 경도는 기조직에 의하여 변화하는 것으로 기조직에 의한 마모량으로 나타낼 수 있을 것이다.

또한 Fig. 10은 SG45를 기준으로 재질별 마모율을 나타 내었다.

고강도 구상흑연주철에 있어서 기조직에 미치는 합금원소의 영향은 Mo가 강력한 베이나이트화의 경향을 가지고 있으며, 특히 Ni과 Cu가 증가할수록 베이나이트에서 마르텐사이트 조직으로 변화하여 경도가 H_B 477까지 높게 나타남을 알 수 있었다.^{9,10)}

Cu는 2% 이상에서 Ni과 혼합하여 퍼얼라이트와 베이나이트의 치밀한 조직을 만들어 그 량이 3% 가까이에서 내마모성이 가장 양호함을 나타 내었다.

마모면은 상당히 얇은 변질층으로 덮혀 있으며

로 그 변질층의 마모와 경도 사이에는 관련성이 있을 것으로 사료되며 각 재질별 경도 변화에 따른 pit 발생까지의 수명에 대한 영향은 경도 증가와 함께 마모율은 현저하게 감소함을 알 수 있었다.

Photo. 2 및 Photo. 3은 마모면의 마모상태를 광학현미경 및 주사전자현미경으로 관찰한 것으로 경도가 높을수록 pit 발생층이 얇은 현상이 나타남을 알 수 있었으며 SG45에 가까울수록, 즉 경도가 낮을수록 pit층이 확장되어 마모가 증대 되었음을 알 수 있었다. 이것은 표면압력과 회전미끄럼에 의해 발생된 전단력과 미끄럼에 따라 생긴 전단력의 반복으로 표면으로부터 debris가 형성하고 표면돌기부의 마찰열에 의한 용착현상이 수반 되었다고 사료 되었다.

4. 결 론

고강도 구상흑연주철의 주방상태에서 마모특성

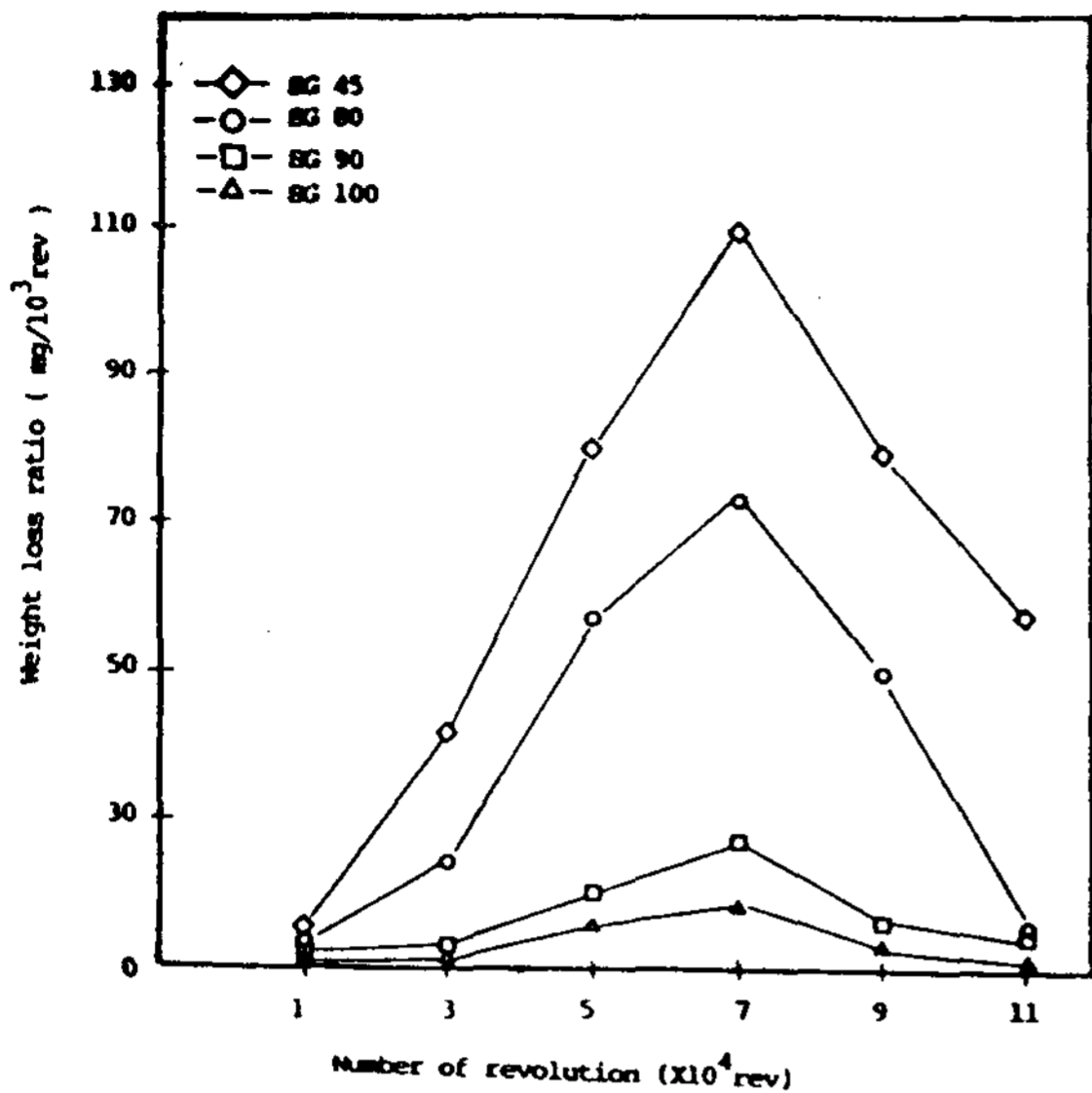


Fig. 7 Relation between weight loss ratio and the number of revolution for various specimens high strength ductile cast iron, maximum compressive stress 42kg·f/mm² and sliding ratio 9.09%

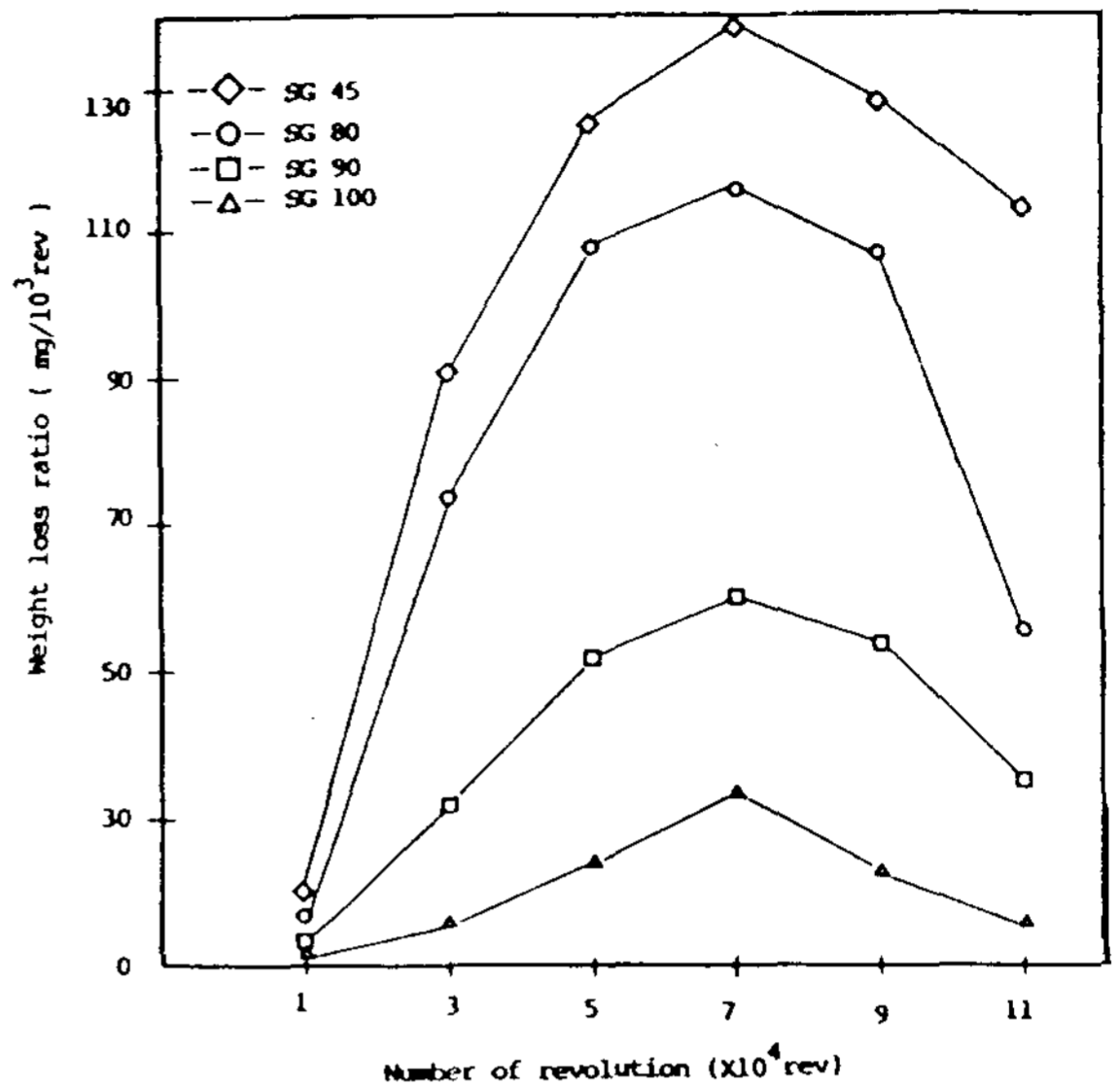


Fig. 8 Relation between weight loss ratio and the number of revolution for various specimens high strength ductile cast iron, maximum compressive stress 54kg·f/mm² and sliding ratio 9.09%

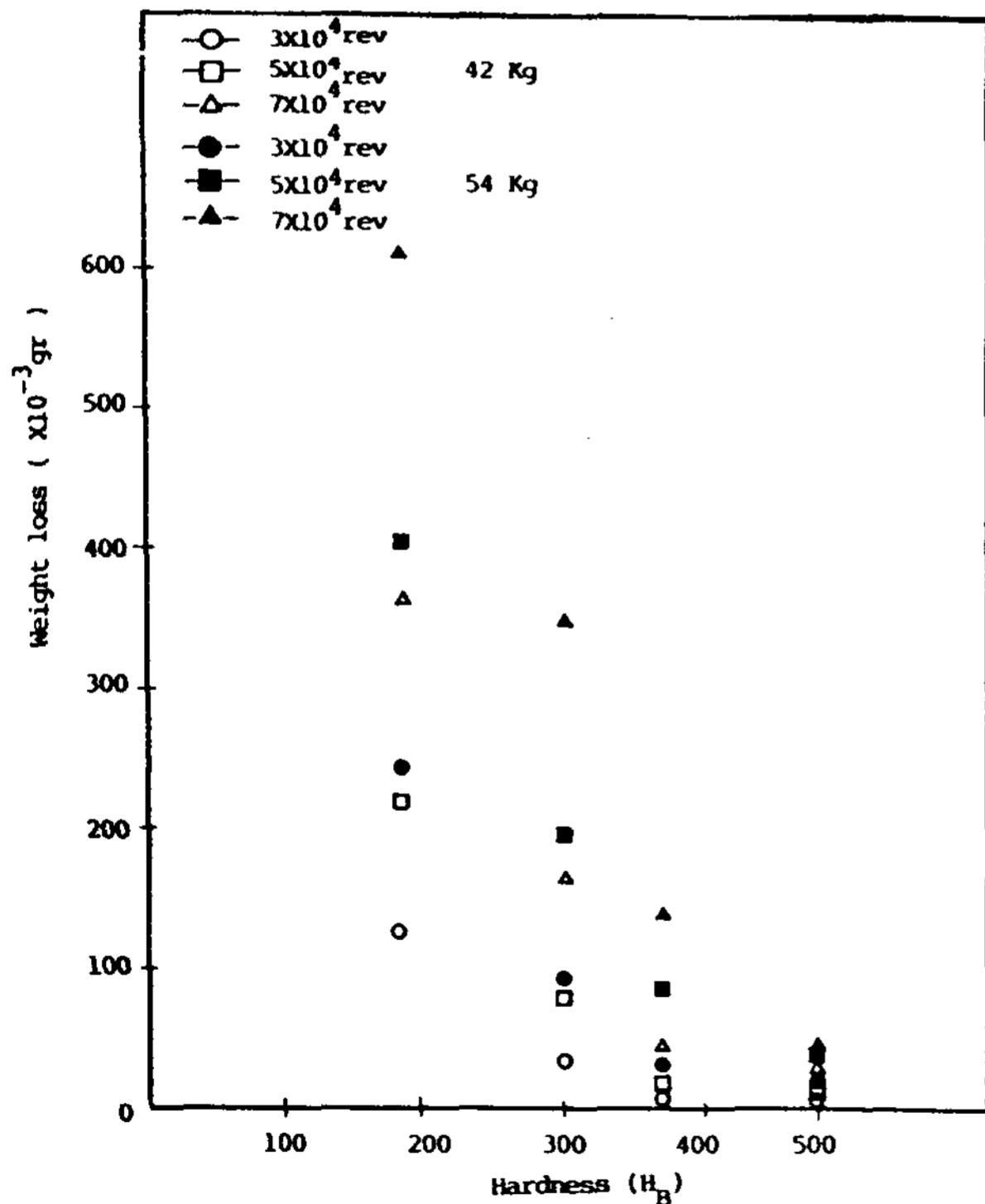


Fig. 9 Relation between weight loss and brinell hardness for wear specimens of high strength ductile cast iron in sliding ratio 9.09%

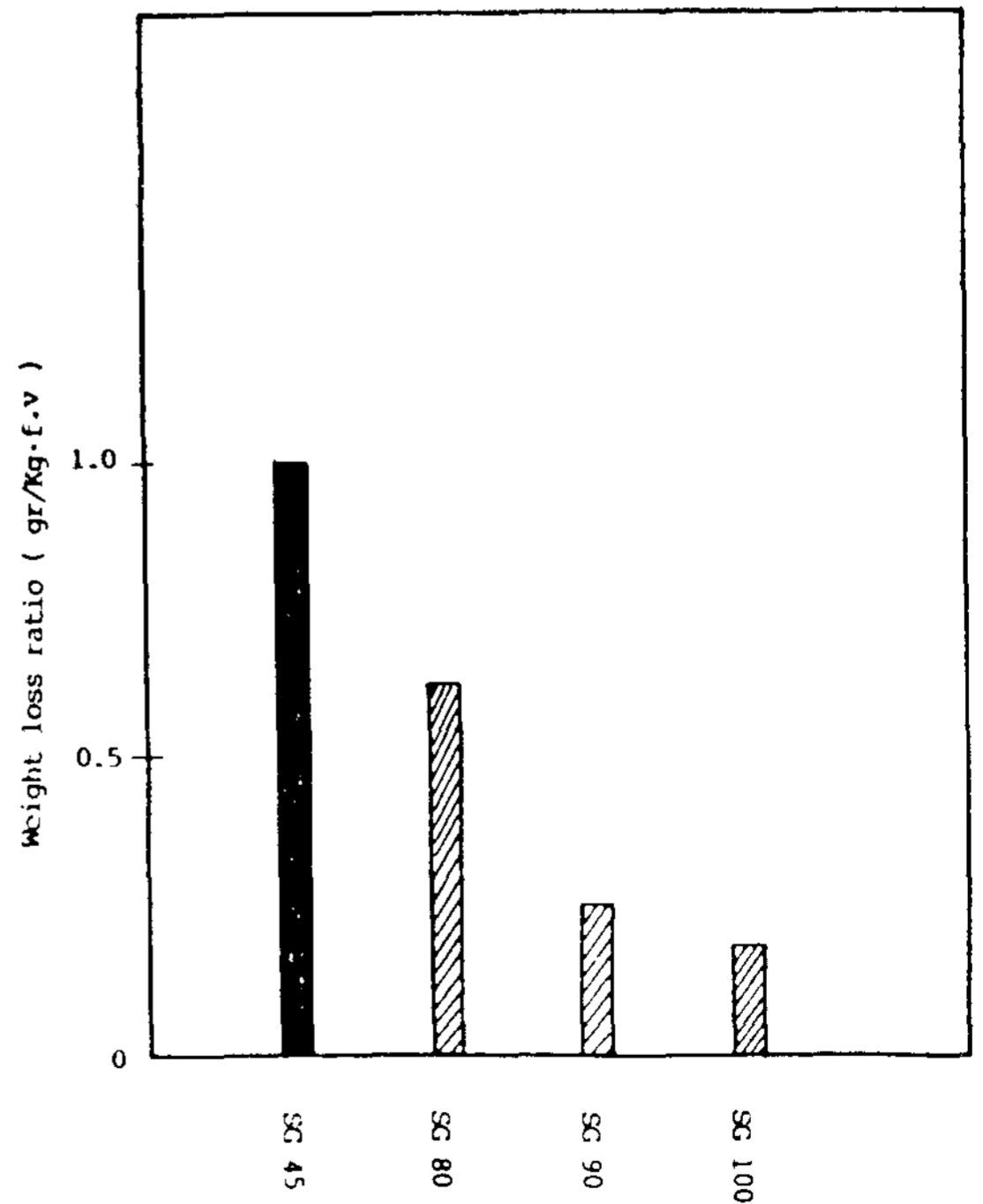


Fig. 10 Relation between weight loss ratio and various specimens high strength ductile cast iron, maximum compressive stress 42kg·f/mm² and number of revolution 50000

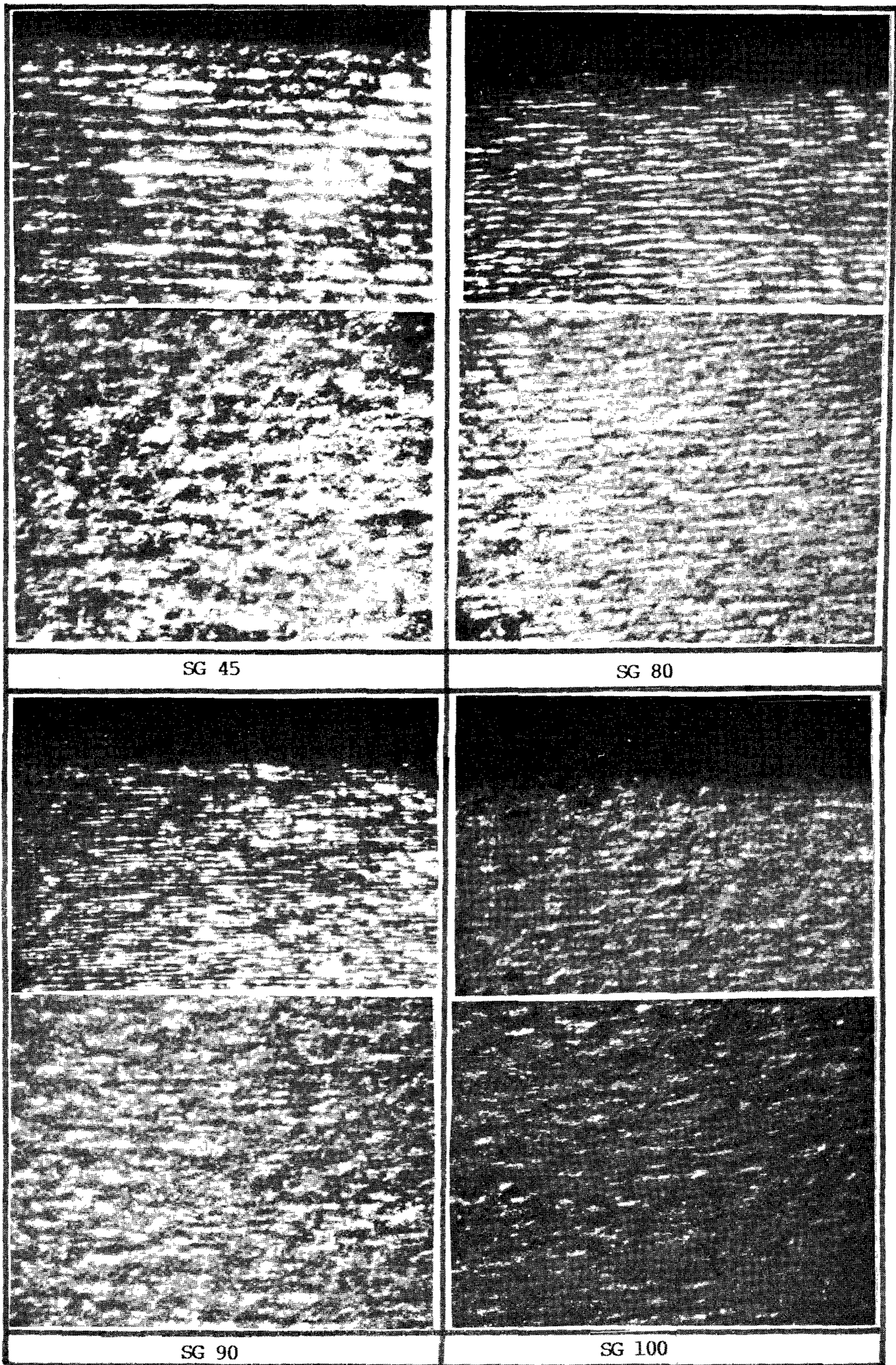


Photo 2. Macrostructure of showing wear surfaces for various specimens of high strength ductile cast iron.(x20)

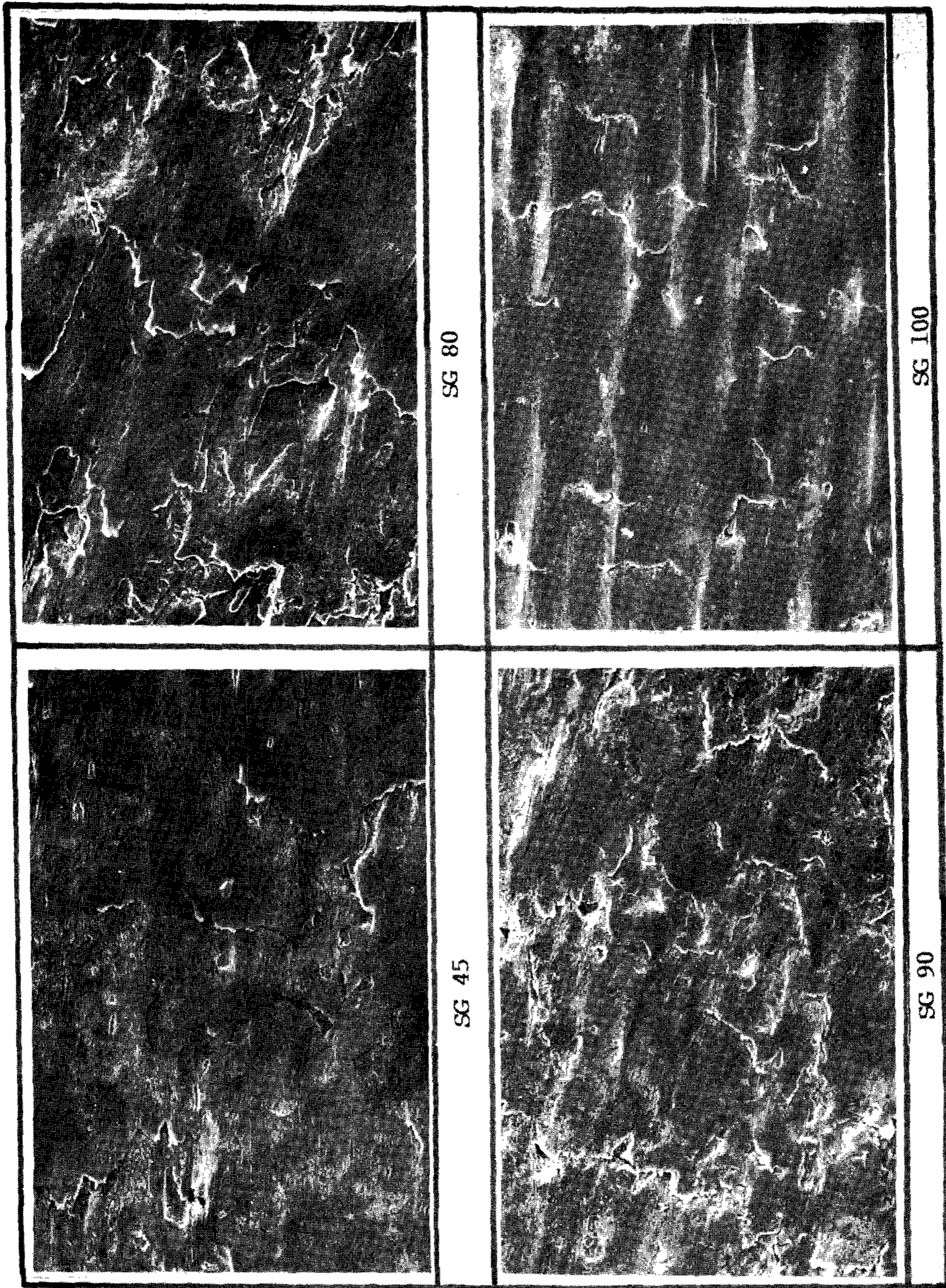


Photo 3. Scanning electron micrograps showing wear surfaces for various specimens of high strength ductile cast iron
54kg·f/mm², 5×10⁴ rev

을 조사하기 위하여, 상대마모 시험편으로 고탄소 강을 사용하고 슬립을 9.09%의 Amsler type에 의한 건식 로링마모 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 구상흑연주철에 0.5% Mo, 1.5% Cu 및 0.9% Ni를 첨가 하였을때에는 퍼얼라이트, 1.0% Cu 및 2.0% Ni을 첨가 하였을 때에는 베이나이트, 그리고 3% Cu와 3% Ni을 첨가 하였을때에는 침상 마르텐사이트조직을 주방상태에서 얻을 수 있었다.

2) 합금원소의 첨가량에 의하여 주방 상태에서 기지조직의 개선으로 고강도 구상흑연주철의 제조가 가능한 것으로 퍼얼라이트에서는 80kg·f/mm², 베이나이트에서는 90kg·f/mm² 그리고 마르텐사이트에서 100kg·f/mm² 정도의 인장강도값을 나타내었다.

3) 최대압축응력이 증가하면 마모량은 증가 하였으며, 재질별 최대마모율을 나타내는 회전수는 최대압축응력에 관계없이 모두 동일한 것으로 7×10⁴의 회전에서 최대의 마모율을 나타내었다.

4) 고강도 구상흑연주철의 경도 증가는 마모량을 감소하는 것으로 이는 기지조직이 단단하고 치밀한 침상의 마르텐사이트 조직일수록 pit 발생층이 얇은 현상으로 H_B 477에서 마모량은 가장 적었다.

에 의하여 수행한 연구의 일부로서 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Hisakado : Wear, 40, 41, (1976) 81
2. J. J. Bikerman : Wear, 39, 1, (1976) 131
3. J. Perry and T. S. Eyre : Wear, 43, 185(1977) 29
4. V. C. Scott and H. Willion : Wear, 47, 165(1977) 63
5. W. P. Suh : Wear, 44, 1, (1977) 27
6. G. L. Sheldon : Journal of Technology, 133, April, (1977) 85
7. V. C. Scott and H. William : Process of Royal Society, A 353, (1958) 71
8. H. Mughrabi : Physics status of solids, 44, (1977) 17
9. J. Dudd : Modern Casting, 68, (1978) 60
10. 上田, 和出 : 鑄物, Vol. 50, No, r (1978) 305
11. 涉各慎一郎外 : 鑄物, Vol. 58, No. 12 (1986) 856
12. Instruction manual on use of the Shimadzu-nishihara metal abrasion testing machine 2, 5, Jul, (1968) 371

후 기

본 연구는 1987년도 한국과학재단 연구비 지원