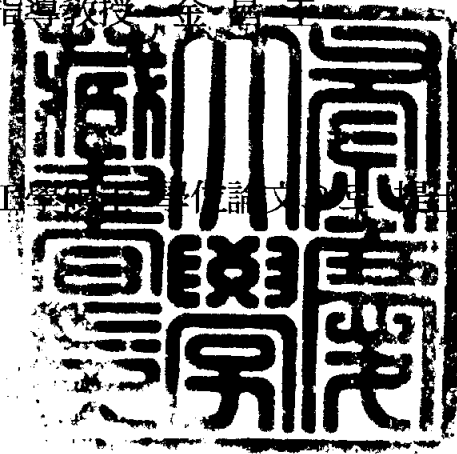


工學碩士 學位論文

WC 초경분말을 도포한 鑄鋼의
表面硬化에 관한 研究

指導教授 金 昌 圭

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함



2003年 2月

釜慶大學校 産業大學院

金屬工學科

張 東 煥

이 論文을 張東煥의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2002年 12月 月

主 審 工學博士 金 武 吉

委 員 工學碩士 李 鍾 文

委 員 工學博士 金 昌 圭



<목 차>

Abstract

제 1 장 서 론	1
제 2 장 이론적 배경	2
제 3 장 실험방법	4
3.1 시료의 제작	4
3.2 mold의 제작	4
3.3 현미경 조직시험	5
3.4 마모시험	12
3.5 경도시험	12
제 4 장 실험결과 및 고찰	13
4.1 현미경 조직검정	13
4.2 마모시험	13
4.3 경도시험	25
제 5 장 결론	32
참 고 문 헌	33
감사의 글	34

A study on the Surface Hardening of Cast Steel with Inserted WC Particles

Dong-Whan Jang

*Department of Metallurgical Engineering Graduate School of
Industry Pukyong National University*

Abstract

For the formation of high hardness micro layer on the surface of mould, micro alloy particles were inserted at the surface of mould.

The important results are as follows :

The inserted micro particles has shown that micro particles layer has infiltrated to the surface and combined with the mother steel well.

As the result of wear test, the inserted micro particles have good wear resistance cause of having about one second of wear loss compared to the material of casting depending on variables such as speed and distance of wear and change of load.

The difference of surface hardness between the inserted micro particles and the mother steel was small when the distance of wear becomes longer.

From these result, a new method of inserting micro particles in a simple way was invented and could be supposed to maintain competition for improving the life expectancy of goods in industry fields.

제 1 장 서 론

토목, 건설, 제철, 발전소 등의 분야에 사용되고 있는 파쇄용 주물 부품 및 강구는 표면에는 내마모성이 요구되고, 내부에는 인성이 요구되어 백주철, 고합금주강, 용접에 의한 경화육성, 용사 등의 이중금속의 용착에 의하여 내마모성을 향상시킨 부품이 사용되고 있다.^{1)~4)} 그러나 이들 재료에는 아직 내마모성이 충분치 못하기도 하고, 특별한 설비나 복잡한 공정이 필요하므로 경제적인 부담이 크며 품질의 안정성이 낮다. 이에 아주 간단한 공법으로 내마모성을 향상시키는 기술의 개발이 요구되어 주물 표면에 초경층을 얻는 방법으로 초경합금 입자와 물유리계의 점결제를 혼합시켜 이것을 필요로 하는 부분의 주형 표면에 도포, 건조시키고 초경합금 입자층을 형성시킨 후 소정 온도의 용탕을 주형에 주입하므로 주물 표면에 초경층이 형성되어 표면경도가 높은 제품을 얻기 위해서 실험을 행하였다.

이러한 방법의 기술은 교통시스템, 발전소, 제철, 파쇄 부품의 cutter, 절삭공구, 준설, 시멘트산업 등에 이용되는 각종 내마모재의 제조에 적용되면 설비비의 절감효과 및 공정의 간소화를 이루게 되어 산업 전반에 파급효과를 극대화할 수 있다고 사료된다.

제 2 장 이론적 배경

1920년대에 텅스텐 카바이드를 이용한 초경합금이 개발된 이후 80여년이 지난 현재에 이르러서도 초경합금은 그 제조공정, 합금의 조성, 품질관리 기법 등은 초창기 기술을 기본으로 하기 때문에 큰 변화가 없는 듯 보이나 내부적으로는 대단히 큰 발전을 이루어 왔다.^{5)~7)}

화학증착법(CVD)과 물리증착법(PVD)에 의한 피복, hot isostatic pressing과 sinter HIP기술, attritor milling, spray drying, pelletizing, carbonitride cermets, indexable insert design 등의 기술개발을 통한 초경합금의 발전은 산업계에 과히 혁명을 가져왔다 해도 과언이 아니다.

초경합금 사업분야에서 가장 핵심적인 변화는 원료 분말 제조업체의 대형화와 초경합금 제조업체의 소형화가 진행된 점이다. 약 40년 전에는 웬만한 초경합금 제조업체들은 모두 자체 내에서 탄화물을 제조하여 사용하였는데 오늘날에는 아주 소수의 회사만이 이러한 구조를 가지고 있다. 이렇게 된 가장 큰 이유는 경제적인 문제뿐만 아니라 생산 방식이 바뀌게 된 것이 주된 이유이다. 현재는 거의 모든 초경합금 제조업체들이 H.C Starck사나 Osrlvania사 등과 같은 세계적으로 거대한 업체로부터 탄화물을 구입하여 사용하고 있다. 이 경우 장점은 제조 단가가 낮기 때문에 가격이 저렴할 뿐만 아니라 품질의 균일성이 높고, 또 분말제조에 필요한 숙련된 기술자, 소요기술에 필요한 노력을 줄일 수 있고, 경기침체 시 휴면하게 되는 설비비의 부

담 등을 줄일 수 있는 장점이 있으나 단점으로는 소위 “공통분모 증후군”으로 동일한 원료를 사용한 초경합금의 특징들이 동일하다는 것이다.^{8)~9)}

최근에는 계속적인 개발에 힘입어 극초미립의 WC분말이 개발되었다. 초경합금 중의 탄화물입자를 미세화하고 입도 분포를 아주 치밀하게 함으로서 경도, 탄성률, 내마모성, 압축강도 등 초경합금의 제특성을 향상시킬 수 있으며, 결합상도 소결시 액상이 되지만 미세할수록 좋다. 50년 전에는 1-1.2 μm 정도의 것이 “미립”으로, 1 μm 이하의 것은 submicron으로 이들 제조업체에서 불리어져 왔다. 그러나 오늘날에는 비록 작은 규모이긴 하지만 평균입도가 수 nanometres의 분말이 개발되었다.^{3), 5)}

본 연구는 이러한 많은 초경합금의 제조기술 중 미립의 WC분말을 이용한 주조공정중에 주형 표면에 도포하여, 표면층을 경하게 만드는 방법으로 간단한 공정으로 쉽게 그 결과를 얻을 수 있으며, 제조되어진 불밀용 강구의 개발로 인하여 소재 원재료비의 절감 효과를 크게 얻을 수 있었다.

제 3 장 실험방법

3.1 시료의 제작

본 실험에서 사용된 시료는 출력 100kW, 주파수 2kHz, 200kg 용량의 고주파 유도 용해로를 사용하여 대기 중에서 용해하였으며 CO₂법으로 만들어진 주형에 초경분말(50 μ m입자의 WC분말과 3 μ m입자의 Co분말을 각각 중량비 90%:10%)을 물유리로 혼합한 후 도포하여 하중 17kg인 Y-block 3개 및 공시재를 제조하였다.

1550℃의 용탕을 주형에 주입시켜 대기 중에서 냉각하여 탈사처리를 하였다. Fig. 1에 시료의 제조공정도를 나타내었다. Table 1에 공시재의 화학성분값을 나타내었고, Fig. 2에 Y-block의 형상과 치수를 나타내었다. 제조된 Y-block의 상부와 하부는 응고과정에서 생성된 조직의 불균질, 편석, 기공 및 수축공 등의 주조 결함을 고려하여 제거시키고 중간 부분만 채취하여 조직시험편, 마모시험편 및 경도시험편을 각각 얻어 조직시험, 경도시험, 마모시험을 행하였다.

Fig. 3에 주형의 형상, Fig. 4에 마모시험편의 치수, Fig. 5에 스가식 마모시험기의 원리도를 각각 나타내었다.

3.2 mold의 제작

조형방법은 CO₂법에 의해 조형되었으며, 조형에 사용된 주물사의 원료로 규사는 강진규사(7호사)를 사용하였으며, 규산소오다를 6% 정도 첨가하여 혼련시켰다. Fig. 3에 공시재의 제작에 사용된 목형과 조

형된 모형의 상태를 나타내었다.

초경입자 도포제는 WC 분말($50\mu\text{m}$)와 Co 분말($3\mu\text{m}$)을 각각 중량비로 90% : 10%로 혼합한 후 물유리 10% 농도의 용액과 잘 교반하여 필요로 하는 부분의 주형의 내벽을 균일하게 도포하여 충분히 건조시킨 후 용탕을 주입하였다. 물유리 중에 함유되어 있는 수분을 고려하여 토치 램프로 충분히 가열 건조를 시켰다.

3.3 현미경 조직 시험

WC초경입자가 도포처리된 시료(SC450)와 처리되지 않은 시료를 광학현미경을 사용하여 기지 및 표면의 WC확산층을 관찰하였다.

주사전자현미경을 사용하여 WC초경입자가 도포처리된 시료와 처리되지 않은 시료의 표면을 관찰하였으며, 마모시험 후의 표면도 관찰하였다.

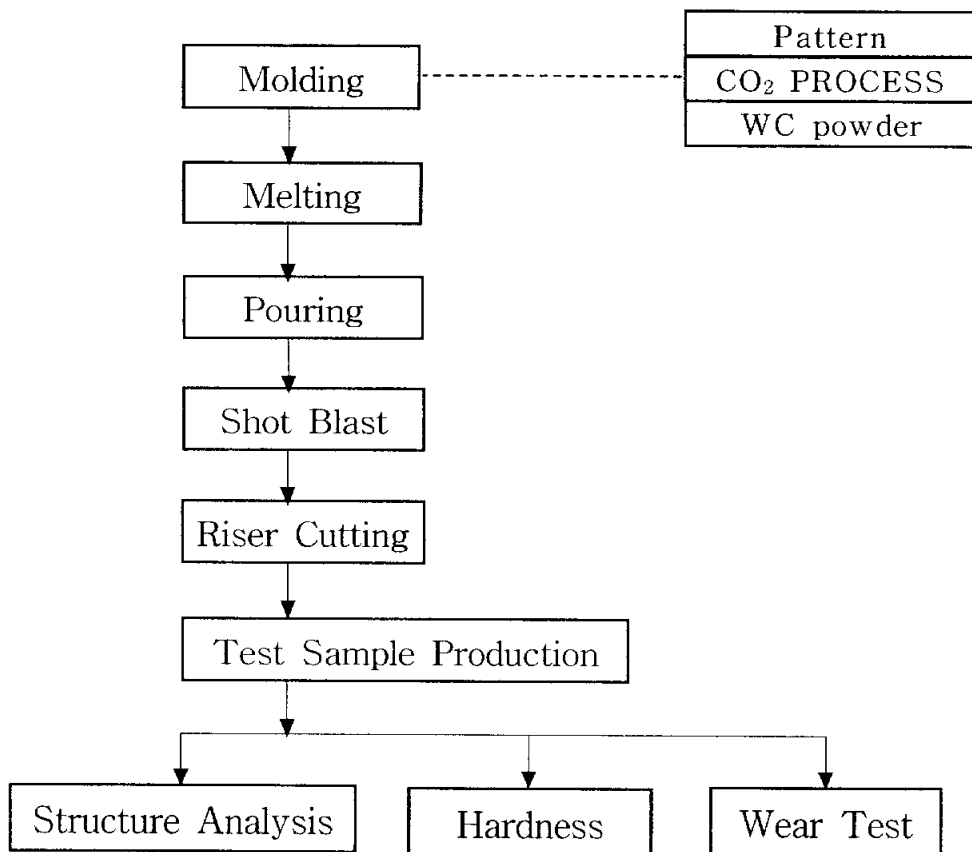


Fig. 1 Experiment system

Table 1 Chemical composition of the specimen
(wt. %)

Element	C	Si	Mn	P	S	Fe
Product	0.25	0.6	0.65	< 0.04	< 0.04	Bal.

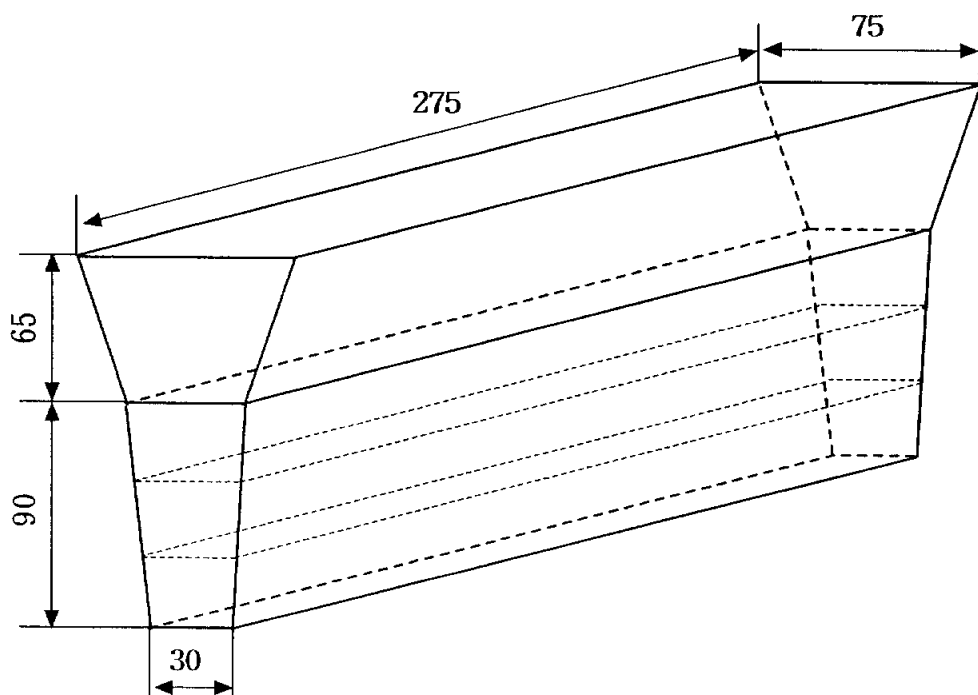


Fig. 2 Dimensions of Y-block employed in this experiment

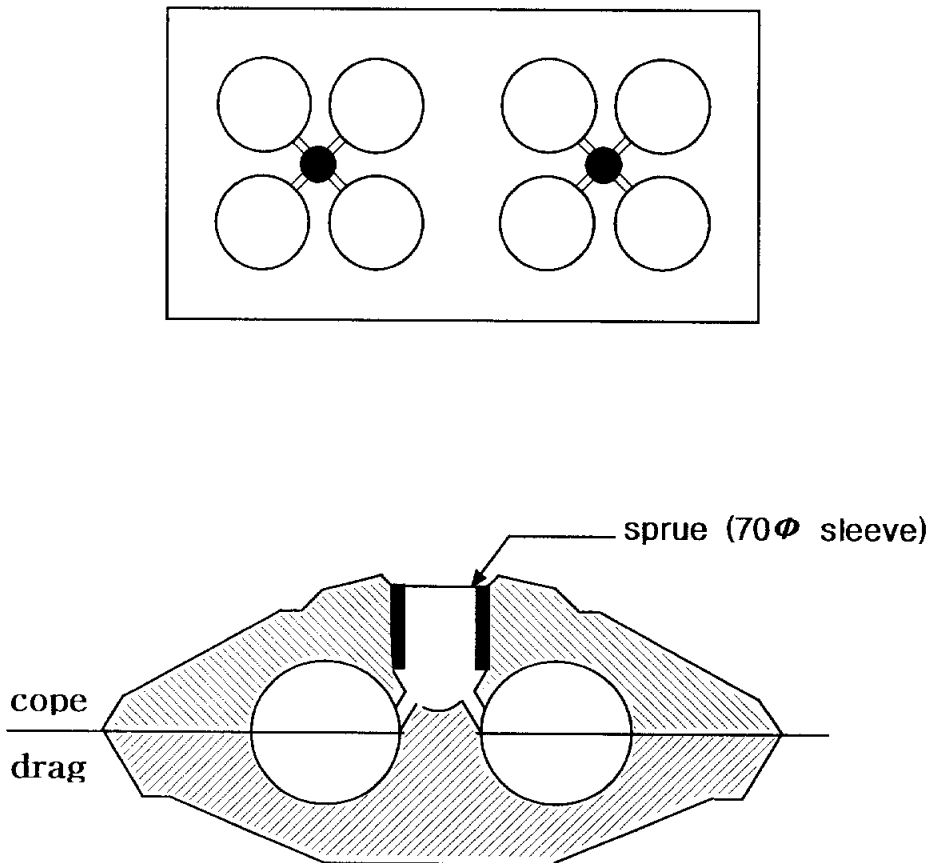


Fig. 3 Schematic drawing of mold

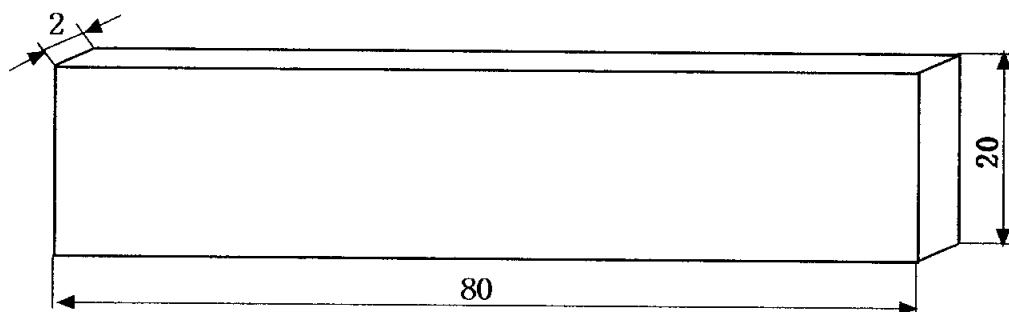


Fig. 4 Dimensions of wear test (unit: mm)

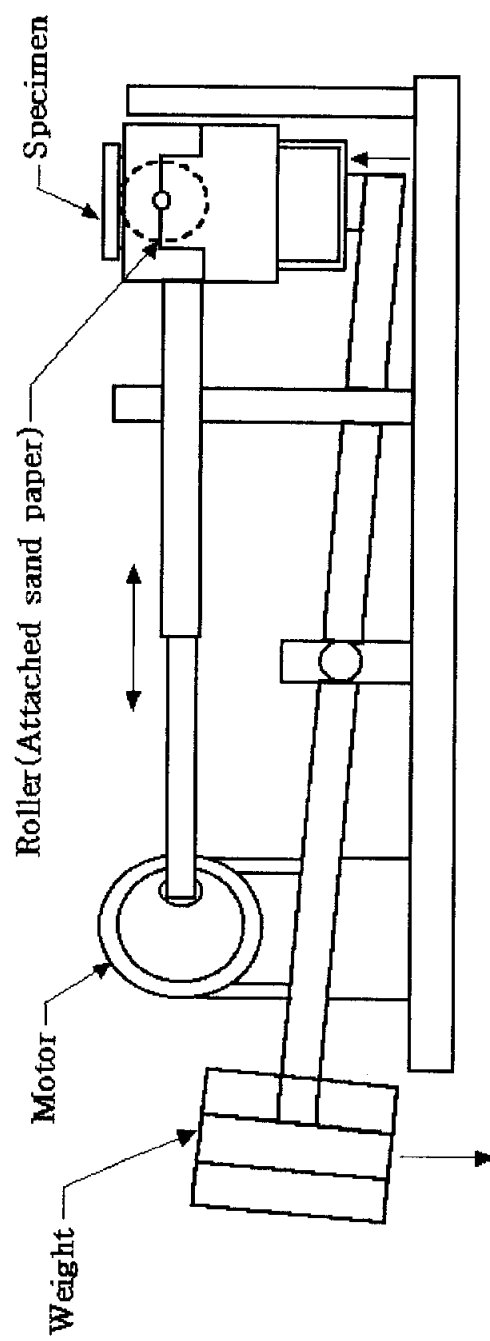


Fig. 5 Schematic drawing of wear tester used

3.4 마모시험

마모특성의 비교를 위하여 서가식 마모시험기를 사용하여 건식 마모시험을 행하였다. 판상(80mmL×20mmW×2mmT)의 시료에 800번의 사포가 접착된 휠의 상대마모재가 20kgf의 마모하중으로 왕복운동을 하며, 1회 왕복 후 새로운 사포면이 시료에 접촉되도록 고안되었다. 마모시험을 마친 시료는 알콜세척과 건조 후 0.001mg까지 무게를 측정하였다.

마모시험 후 시료의 마멸면은 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였다.

3.5 경도시험

비커스 경도시험기를 사용하여, WC초경입자 도포처리한 시료와 처리되지 않은 시료의 표면경도를 측정하고, 마모시험거리 300m, 500m에서의 표면에서 내부기지조직까지의 경도분포를 측정하였다.

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 현미경 조직검경

Photo. 1에 모재의 조직을 나타내었으며, 전형적인 페라이트 기지조직을 보이고 있다. Photo. 2에는 WC초경입자 도포처리를 한 시료의 광학현미경 사진을 나타내었으며 약 $75\mu\text{m}$ 정도의 검은색의 초경층이 형성된 것이 뚜렷이 나타났으며, 모재와 잘 결합된 형상을 하고 있다. Photo. 3은 모재와 초경층 계면의 사진이며, 계면에 산화물이 일부 분포하고 있음을 알 수 있다. Photo. 4는 초경입자 도포처리를 한 시료의 SEM사진이며, 흰 부분의 초경입자의 입자가 분포되어 있음을 보이고 있다.

4.2 마모시험

Table 2에서 Table 4까지는 초경분말을 도포처리한 시료와 모재의 각 조건에서의 마멸시험의 조건을, Fig. 6에서 Fig. 8은 마멸시험의 결과를 나타내었다. Fig. 6은 마모거리 100m, 하중 20kg 조건에서 마모속도를 각각 0.008, 0.016, 0.032, 0.04m/s로 변화시켰을 때 마모감량 변화를 나타내었다. 초경분말을 도포처리한 시료가 모재보다 마모감량이 훨씬 적었으며, 마모속도 증가에 따라 마모감량도 점차 감소하고 있다. Fig. 7은 하중 20kg, 마모속도 0.024m/s로 일정하게 하고 마모거리를 각각 50, 100, 150, 200, 250m로 변화시켰을 때의 마모감량

을 나타낸 것이다. 모재의 경우는 마모거리의 증가에 따라 급격한 마모감량을 나타내었고, 초경입자 도포처리한 시료의 경우는 다소 완만한 현상을 보이고 있다. Fig. 8은 마모속도 0.024m/s, 마모거리 100m로 일정하게 하고 하중을 5, 10, 15, 20kg으로 변화시켰을 때에 마멸감량과의 관계도이다. Fig. 7에서와 같이 모재의 경우는 하중의 증가에 따라 마모감량이 급격히 증가하였으나 초경입자 도포처리한 시료는 다소 완만한 현상을 나타내고 있음을 보여주고 있다.

이상의 결과에서 초경입자 도포처리된 시료가 모재의 시료에 비하여 마모감량이 훨씬 적었으며, 마모거리가 증가할수록, 모재에 비하여 적은 비율로 마모감량이 증가하는 현상을 보이고 있다. Photo. 5는 마모거리 300m 이후의 마모면이며 초경층이 서서히 마모되어 일부 모재조직이 나타났다. Photo. 6은 마모거리 500m일 경우이며 초경입자가 거의 마모되었음을 보여주고 있다.

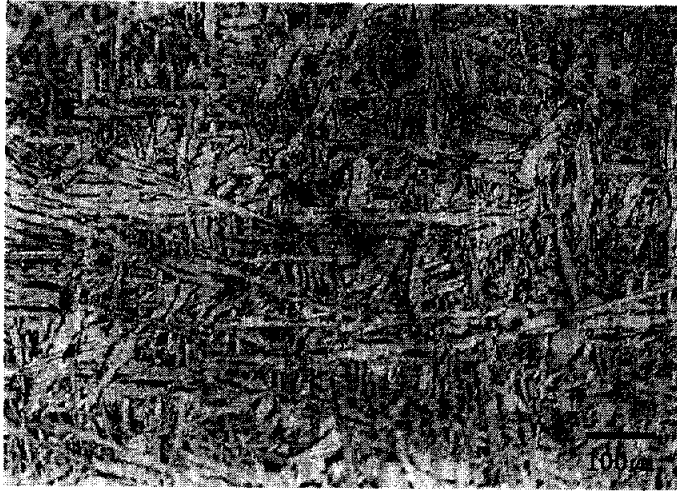


Photo. 1 Optical micrographys of as-cast state

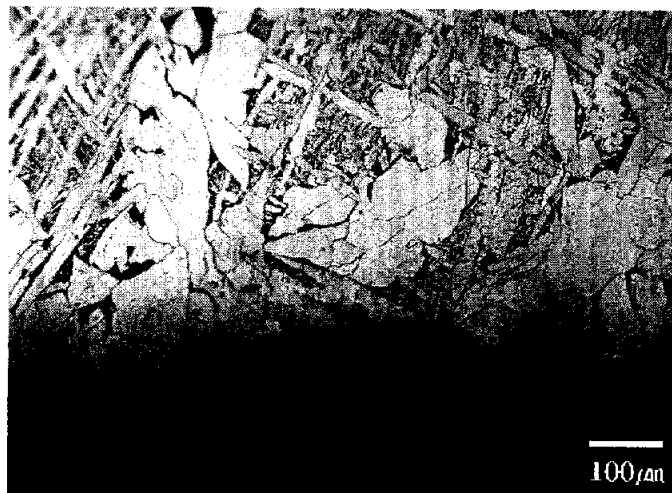
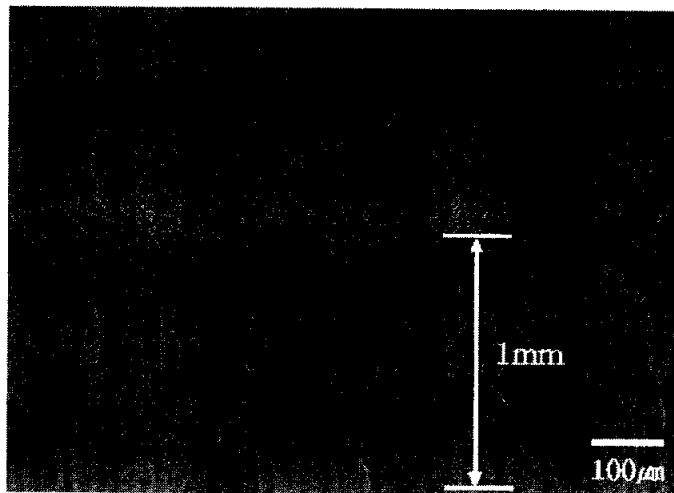


Photo. 2 Optical micrographys of specimen coated by WC powder

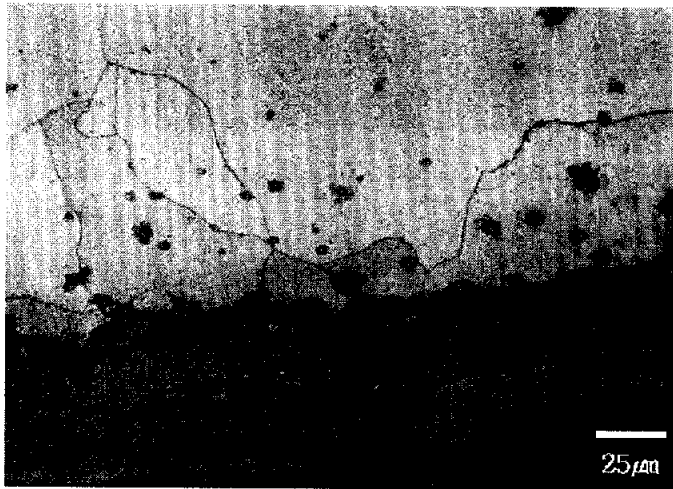
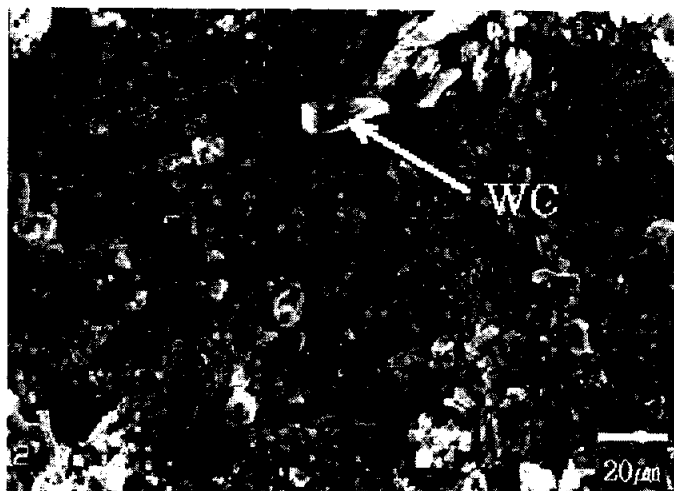


Photo. 3 Microstructures showing WC layer and surface oxide layer



(a)



(b)

Photo. 4 Scanning electron micrographys of specimen
(a) as-cast
(b) WC powder coating

Table 2 Variation of wear loss with sliding velocity in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

factor wear loss	load (kgf)	sliding distance (m)	(sliding velocity, m/s)						remark
			0	0.008	0.016	0.024	0.032	0.040	
as-cast	20kg	100	0	25.0mg	22mg	20mg	18mg	17mg	
coated specimen	20kg	100	0	12.5mg	10.5mg	8.5mg	5mg	4.8mg	

Table 3 Variation of wear loss with sliding distance in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

factor wear loss	load (kgf)	sliding velocity (m/s)	(sliding distance, m)						remark
			0	50	100	150	200	250	
as-cast	20kg	0.024	0	12mg	25mg	35mg	43mg	53mg	
coated speicmen	20kg	0.024	0	5.0mg	10.5mg	18.5mg	21mg	25mg	

**Table 4 Variation of wear loss with load in as-cast alloys
and wear resistant steel using WC powder**

factor wear loss	sliding velocity (m/s)	sliding distance (m)	(load, kgf)					remark
			0	5	10	15	20	
as-cast	0.024	100	0	9.5mg	14mg	18mg	23mg	
coated speicmen	0.024	100	0	5.0mg	6.5mg	8.0mg	10.5m g	

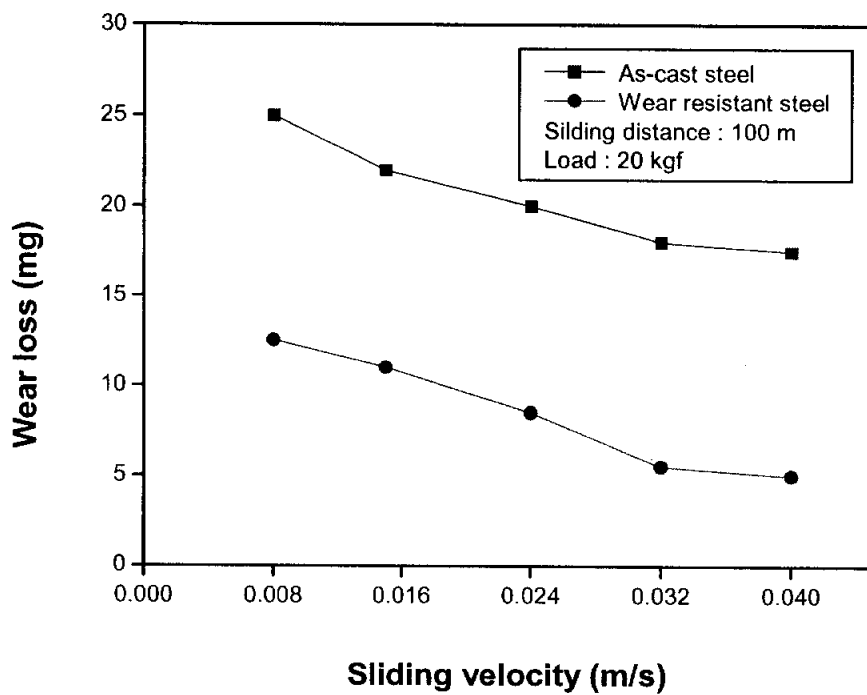


Fig. 6 Variation of wear loss with sliding velocity in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

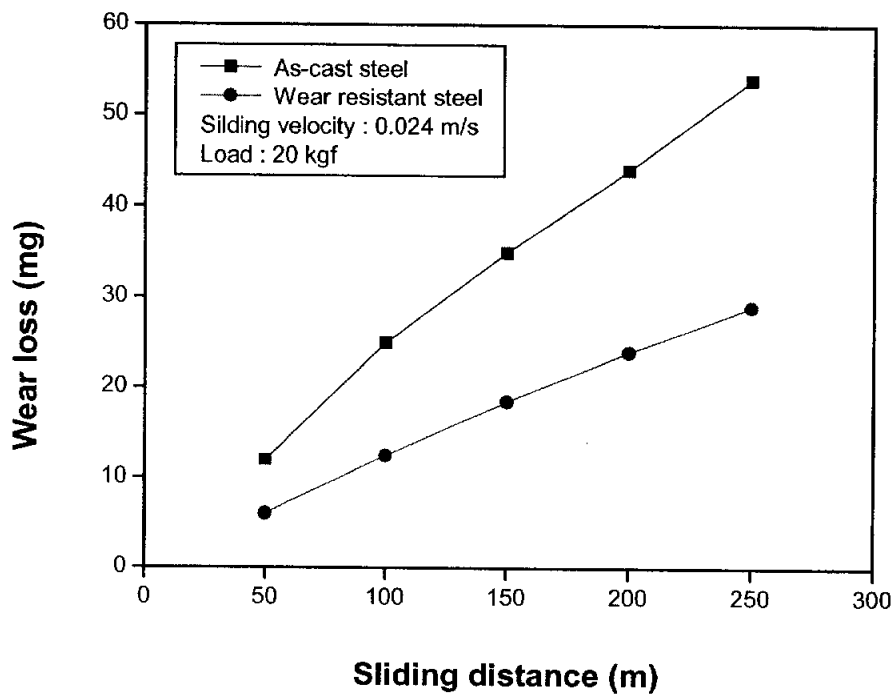


Fig. 7 Variation of wear loss with sliding distance in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

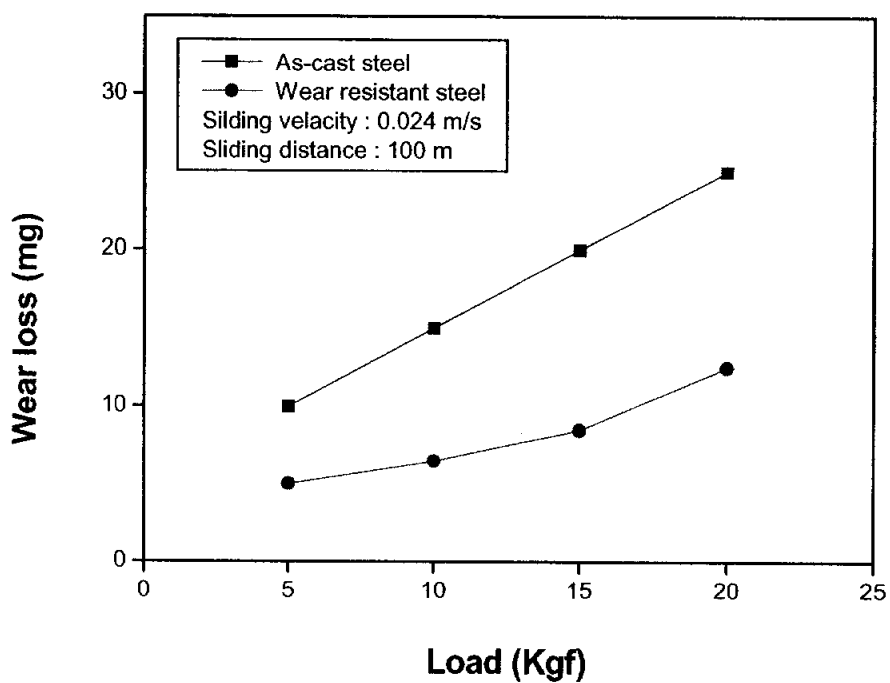


Fig. 8 Variation of wear loss with load in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

4.3 경도시험

Fig. 9~11은 모재와 초경입자를 도포처리한 시료의 표면에서 내부까지의 경도 측정 결과이며, 모재의 시료는 경도의 분포가 거의 일정한 60HRC로 나타내었다. 초경입자를 도포처리한 시료는 표면부가 80HRC 이상 높게 나타났다. WC도포층인 약 80 μ m까지는 거의 균일한 값을 나타내고 있으며, 모재 쪽으로 갈수록 모재와 거의 같은 값을 나타내고 있다. 마모거리에 따른 경도값은 마모거리가 300m일 경우 초경입자가 도포처리된 시료는 모재보다 약간 높은 경도값을 나타내었으며, 마모거리가 500m일 경우에는 초경입자가 도포처리된 시료와 모재와의 경도값의 차이는 작았다. 이는 마모거리가 길어질수록 초경경화층이 박리하기 때문으로 사료된다. Photo. 5는 마모거리 300m일 경우 마모면의 SEM사진이다. Photo. 6은 마모거리 500m일 경우 마모면의 SEM사진이며 심한 마모 흔적이 보이고 있다.

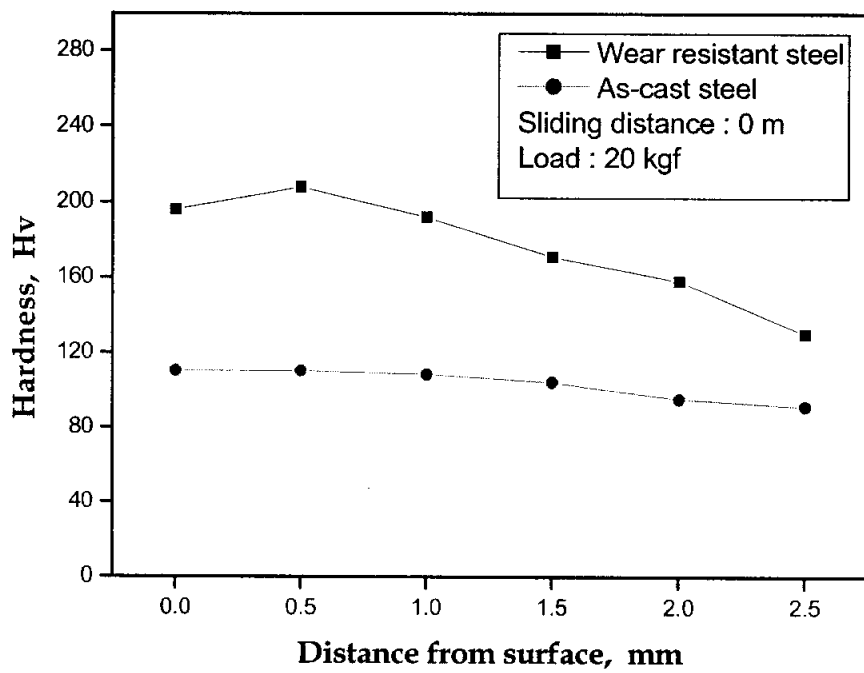


Fig. 9 Hardness in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

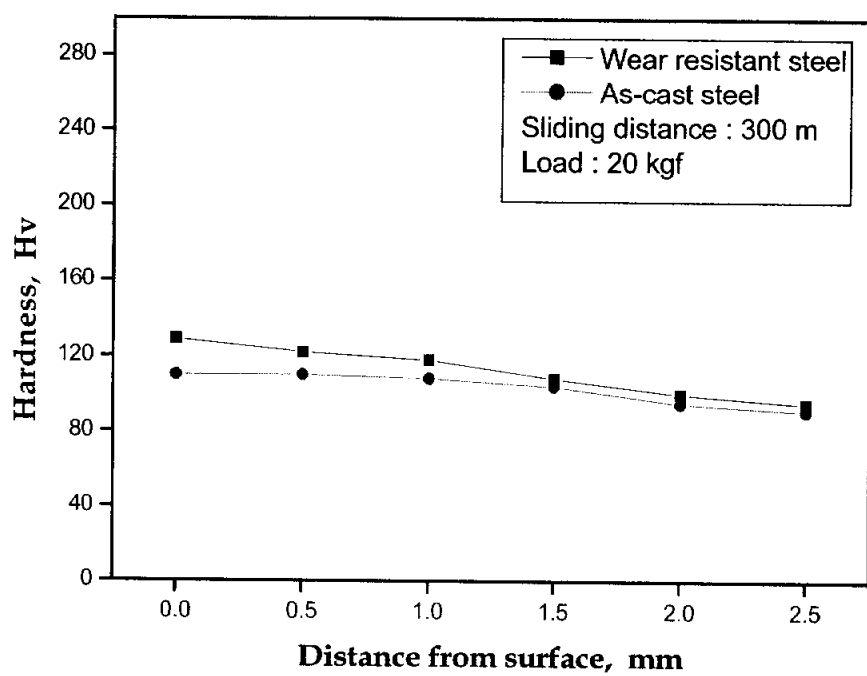


Fig. 10 Hardness in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

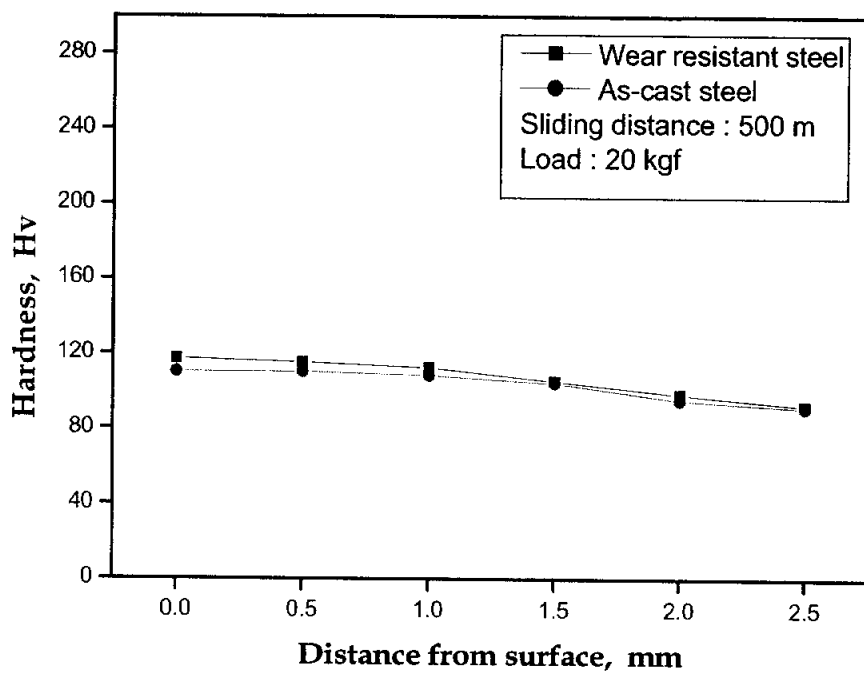


Fig. 11 Hardness in as-cast alloys and wear resistant steel using WC powder

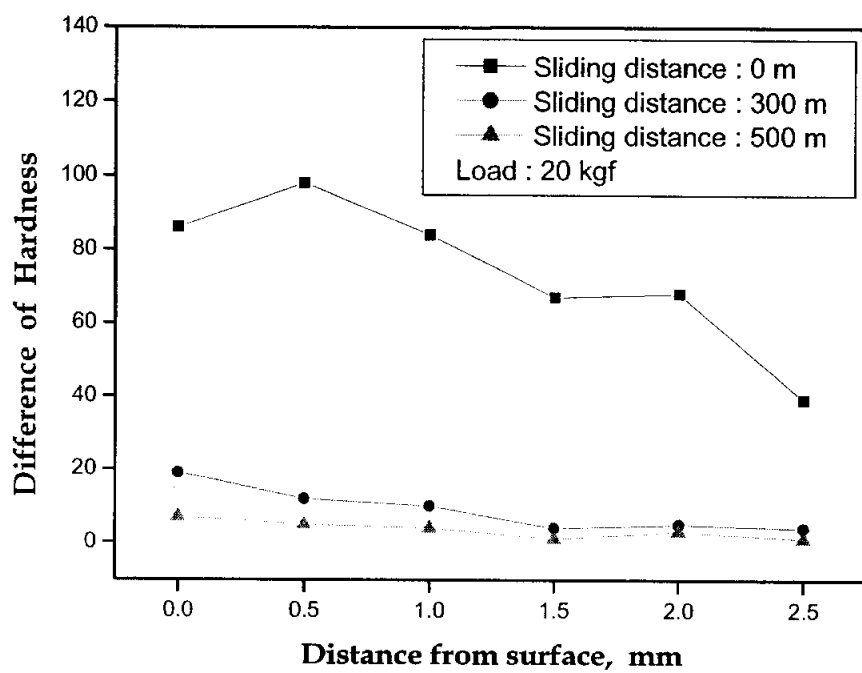
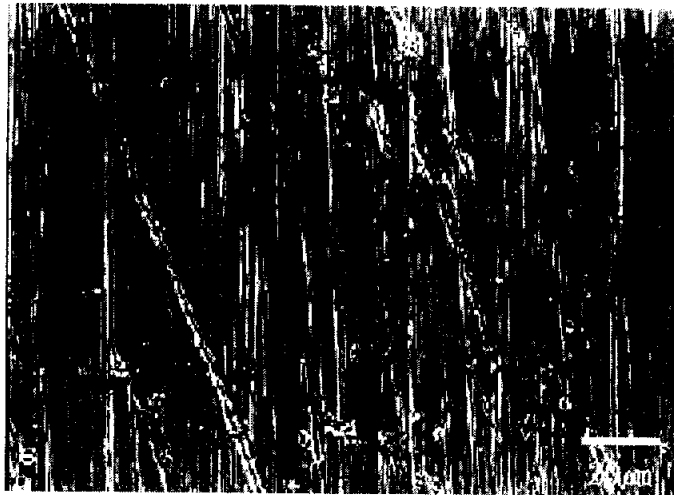
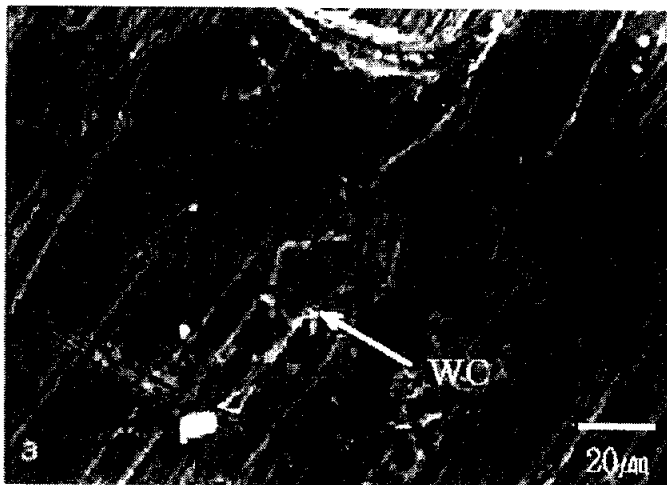


Fig. 12 Difference of hardness in a sliding distance

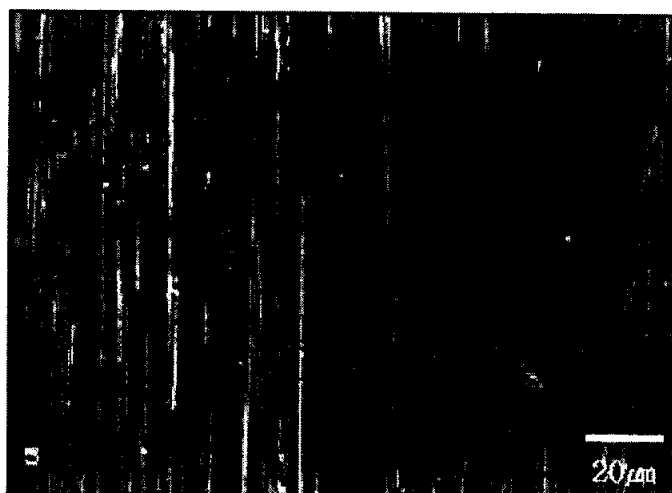


(a)

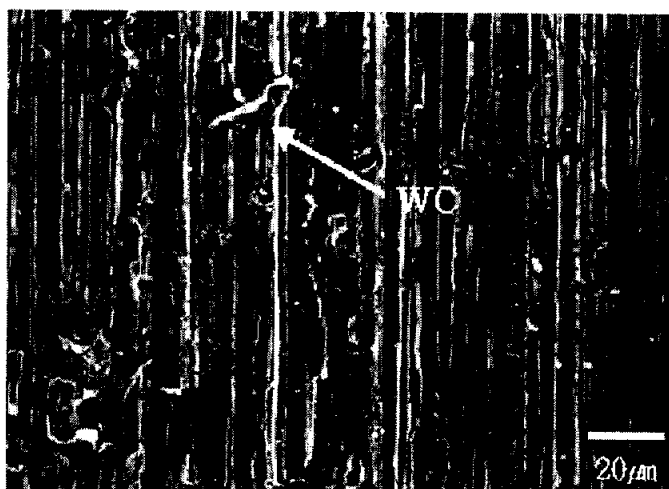


(b)

Photo. 5 Variation of wear surface of specimen
(sliding distance : 300m)
(a) as-cast specimen
(b) coated specimen



(a)



(b)

Photo. 6 Variation of wear surface of specimen
(sliding distance : 500m)

(a) as-cast specimen

(b) coated specimen

제 5 장 결 론

본 연구는 주형의 표면에 WC초경분말을 도포처리한 주강재의 표면경화에 관한 실험결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초경입자를 도포처리한 소재는 표면경도가 약 HRC 84로 높은 경도값을 나타내었다.
- 2) 초경입자를 도포처리한 소재는 모재의 표면 부위에 WC경화층이 형성되었으나 일부에 산화층도 나타났다.
- 3) 초경입자를 도포처리한 소재는 마모속도, 마모거리, 하중의 변화에 따라 마멸량이 주방 상태의 재료에 비하여 약 1/2배 정도의 마멸량을 나타내었다.
- 4) 마모거리가 길어질수록 초경입자가 도포처리된 시료와 모재의 표면경도값의 차이는 적었다.

참 고 문 헌

- 1) 井川克也, 新山英輔, 田中雄一, 堀江皓, 桃野正, 材料工學, 潮倉書店, (1993) p. 170
- 2) 中江秀雄, 鑄造工學, 生産圖書, (1995) p. 2
- 3) 素形材料, 素形材 36, (1995) p. 13
- 4) 小林 武, 佐治智之, 鑄物 61, (1989) p. 717
- 5) 田切重測, 中材公生, 市之弘之, 道捕吉点, 善多川好, 鑄物 76, (1995) p. 77
- 6) 鑄物技術講座編集委員會編, 鑄物技術講座 9, 特殊鑄造, 日刊工業新聞社, (1968) p. 13
- 7) 小野 周, 表面張力, 共立出版, (1988) p. 67
- 8) 鑄物技術講座編集委員會編, 鑄物技術講座 3, 普通鑄物, 日刊工業新聞社, (1967) p. 80
- 9) 鑄物技術講座編集委員會編, 鑄物技術講座 2, 鋼鑄物, 日刊工業新聞社, (1976) p. 4

감사의 글

되돌아 보건대 지금까지 여러모로 부족한 저에게 도움을 주신 분들이 너무나 많았습니다. 특히 본 논문이 완성되기까지 무한한 힘을 주시며 항상 사랑을 베풀며 학문을 지도해 주시고 염려하여 주신 김 창규 교수님께 무한한 감사의 글을 드립니다.

더불어 많은 가르침과 조언을 아끼지 않으시고 심사를 맡아주신 김 무길 교수님, 이 종문 교수님 그리고 항상 따뜻하게 격려를 주신 금속공학과 교수님께 감사 드립니다.

그리고 본 연구가 완성될 수 있도록 힘써준 문 윤길, 황 성훈 그리고 연구실 후배들께 깊은 고마움도 결코 잊을 수 없을 것입니다.

오늘의 제가 있기까지 어렵게 기다려준 저의 아내와 새롭이, 병현아도 고마움을 전하고 이 조그만 논문이 결실을 맺기까지 항상 옆에서 힘이 되어준 동료 김광일씨와도 함께 기쁨을 나누고 싶습니다.

지난 3년여 동안 대학원 생활을 마감하면서 좀 더 열심히 했더라면 하는 아쉬움이 남습니다. 끝으로 부족한 저에게 힘이 되어주신 모든 분들에게 지면을 빌어 일일이 소개 올리지 못한 여러분께 송구스럽게 생각하며 이 고마움을 전합니다.

2003년 2월

장 동환 드림