

선재 사상압연용 고내마모 텅스텐카바이드를 개발

이 영민*, 조 용근
포항제철소 선재부 기술관리팀*

Development of Higher Wear Resistance WC Roll for Finishing Stands of Wire Rod Mill

Y. M. Lee* and Y. K. Cho
Wire Rod Technical Management Team, POSCO*

Abstract

Tungsten Carbide(WC) Roll is widely used in finishing stands of wire rod mill. This report is about the manufacturing method of WC roll with excellent wear resistance. To enhance wear resistance, WC content has been increased to the maximum extent while binder content such as Co,Ni,Cr has been minimized. Part of WC is replaced with TiC having more wear resistant than WC. WTiC powder has been used to prevent weight unbalance resulting from the difference of specific weight when adding TiC. The roll manufactured by this method, is having more wear resistance than the existing rolls when applying to the final stand of the finishing mill. This report shows that WC is the critical factor of wear resistance in WC rolls and an appropriate amount of TiC effects wear resistance and when adding TiC, using WTiC powder is better.

Key words : wire rod, fm roll, wc roll, wtic

1. 서론

선재 압연에 사용되는 Roll의 재질은 Adamite,DCI(Ductile Cast Iron),Tungsten Carbide(WC)이다. RM(Roughing Mill)에는 Adamite와 DCI를, IFM(Intermediate Finishing Mill),FM(Finishing Mill)에는 WC Roll을 사용하고 있다. 일반적으로 FM에 사용되는 WC Roll의 성분은 주원료인 WC함량이 85%이고, 부원료인 Binder(결합제)의 함량이 15%이다. WC Roll의 특성은 내마모성이 타재질 대비 우수한 반면에 취성이 높아 Roll에 Trouble(절손,Spalling,Crack)이 빈번하게 발생된다.

최근 압연기술, 냉각기술, 정비기술의 발달로 Miss Roll 및 Roll Trouble이 감소됨에 따라 더 높은 경도의 고내마모 Roll의 필요성이 대두 되었다. 기존의 FM Roll사용시 마모로 인한 Roll 교체주기 과다로 생산성이 저하되고, Roll소모량 과다로 비용증가, 정비부하 가중, 제품 표면품질 저하, 부식 등의 문제점이 있었다.

본 논문은 이와같은 문제점을 해결하기 위한 선재 FM용 고내마모 WC Roll 제조방법에 관한 것이다. 특히, 기존 Roll과는 다르게 내마모성향상을 위하여 1차적으로 WC함량을 최대한 향상시키고, WC의 일부분은 WC 대비 내마모성이 우수한 티타늄카바이드(TiC)로 대체하여 2차적인 내마모

성향상을 도모하고자 한다.

TiC첨가시 비중차이(WC:15, TiC:5)로 인한 물리적인 Powder 혼합과정에서의 Unbalance발생으로 인한 Roll의 중량 불균형을 방지하기 위하여 초경공구의 인선부위에 내마모성향상을 위해 사용되는 WTiC(텅스텐-티타늄카바이드)를 사용하여 중량 불균형 문제를 해결하고자 한다.

상기 방법에 의해 제작된 Roll을 선재 FM에 투입하여 사용한 결과를 기존 Roll과 비교해 보고, WC함량증가 및 TiC첨가의 효과에 대해 알아 보고자 한다.

본 논문은 WC Roll에 있어서 WC가 내마모성의 중요한 인자라는 사실과 WC의 일부분을 TiC로 대체하면 내마모성향상에 우수한 효과를 얻을 수 있다는 것을 기술적 요지로 한다.

2. 이론적 배경

2.1 선재압연 개요

선재압연은 Fig. 1과 같이 소재인 Billet을 적정온도로 가열하여 조압연(RM), 중간사상압연(IFM), 사상압연(FM)을 거쳐, 5.5~42mm ϕ 의 선재(Wire Rod)를 생산하는 것이다.

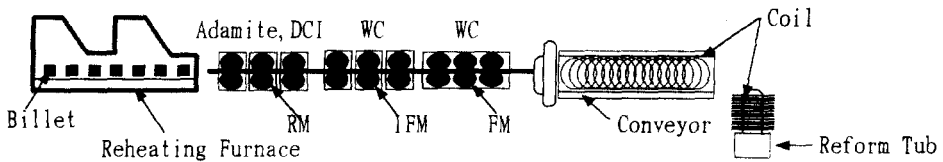


Fig.1 Wire Rod Mill Lay-out

선재의 특성은 제품의 단면적이 작아 단위 시간당 생산량이 타 제품에 비하여 열위이므로 압연속도 및 휴지시간 감소를 통하여 생산성을 향상시키고 있다. 선재공장에서 생산되는 강종은 베어링강, 스프링강, Tire Cord, 용접봉, 쾌삭강, 경강, 연강 등 이다. Fig. 1과 같이 선재압연에 사용되는 Roll의 재질은 Adamite, DCI (RM), WC (IFM, FM) 이다.

2.2 제조공정

WC Roll의 일반적인 제조공정은 Fig. 2와 같다.

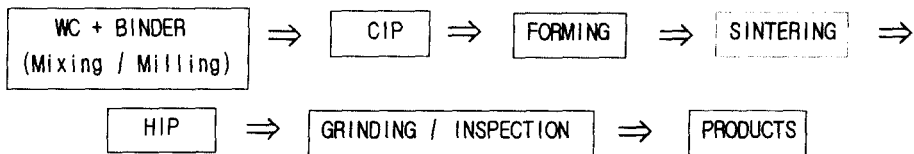


Fig. 2 WC Roll Manufacturing Process

혼합 Milling은 주원료인 WC와 부원료인 Binder를 Ball Mill에서 균일하게 혼합 및 분쇄하는 공정이다. CIP(Cold Isostatic Pressing)는 냉간상태에서 Press로 압축을 하는 공정이고, Sintering은 진공상태의 소결로에서 실시되며, HIP(Hot Isostatic Pressing)는 열간상태에서 내부 Porosity제거 및 내구성향상을 향상을 목적으로 실시된다. HIP는 필수 공정이라고 할 수는 없으나 WC Roll의 내부품질에 중요한 영향을 미치는 공정이므로 실시하여야 한다.

2.3 WC Roll성분 및 특성

WC Roll은 주원료인 WC와 부원료인 Binder(결합제, Co, Ni, Cr)를 원료로 제조한 소결합금이다. WC Roll의 특성은 높은 강성, 강도, 내마모성, 기계적 충격력이 우수하다는 것이다. Binder는 Co, Co+Ni, Co+Ni+Cr의 3종류가 있으며, 사용특성에 맞게 선택하여 사용된다.

WC Roll의 일반적인 함량은 중량기준으로 70~90%의 WC, 10~30%의 Binder로 되어 있다. Binder 함량이 10%이하가 되면 내열Crack성이 감소되며, 30%이상시에는 내마모성이 현저히 감소되어 사용하기에 부적합하다.

WC Roll은 선재, 봉강, 철근공장의 중간사상(IFM), 사상(FM)에 압연 Roll로 사용된다. 조압연에는 Composite Roll에 Ring Type Roll로 사용된다.

Fig. 3은 Co Binder함량에 따른 경도, 항절력, 마모와의 상관관계를 나타낸 그림이다.

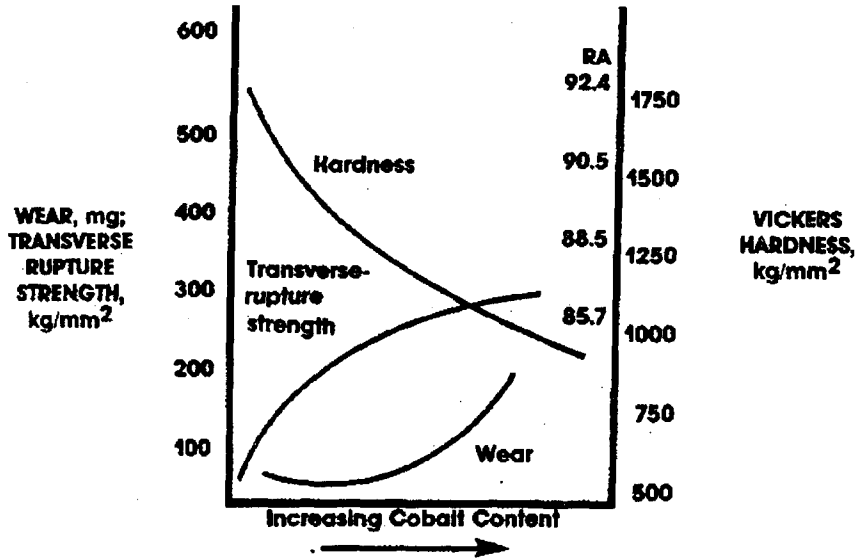


Fig. 3 Hardness, Transverse-rupture Strength and Wear as a Function of Co Binder Content

Fig. 3에서 보는 바와 같이 WC Roll에 있어서 내마모성의 주요인자는 WC이다. 경도, 내마모성은 WC함량에 비례하여 증가되고, Co함량에는 반비례함을 알 수 있다. 또한, 항절력(Transverse-rupture Strength)은 WC함량에 반비례함을 알 수 있다. 항절력은 WC Roll의 인성과 가장 밀접한 인자이고, Co함량이 20~25%시 항절력은 최대이다. 소결온도가 높거나, 소결시간이 길어서 입자(Grain) 증가시 항절력은 감소된다. WC Roll의 내마모성을 향상시키기 위해서는 주원료인 WC의 함량을 항절력의 문제가 없는 범위내에서 최대한 증가하여야 한다.

Table 1은 열간압연에 사용되는 WC Roll의 일반적인 Grade와 특성을 나타낸다.

Table 1 Typical Grades of Tungsten Carbide Used in Hot Rolling

CHEMICAL COMPOSITION & PHYSICAL PROPERTY	WEIGHT PERCENT				
	87:13	85:15	80:20	75:25	70:30
WC : Co	87:13	85:15	80:20	75:25	70:30
HARDNESS, Ra	89	86.5	84.5	83	82
TRANSVERSE RUPTURE STRENGTH, kg/mm ²	250	270	300	300	300

Fig. 4는 WC와 Co성분에 따른 경도 및 Grain Size에 따른 경도의 영향을 나타낸 그림이다.

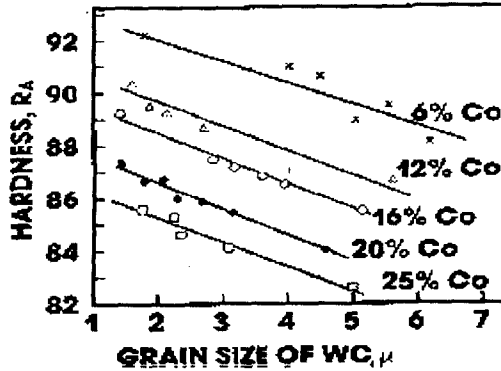


Fig. 4 Effect of WC Grain Size on Rockwell A Hardness of WC-Co Compositions with Different Cobalt Content

Fig. 4에서 보는 바와 같이 WC제품의 Grain Size는 1~7μ가 가장 널리 사용된다. Grain Size가 증가하면 내마모성은 감소하고, 인성은 증가한다. 반대로 Grain Size가 감소하면 내마모성과 압축응력은 증가한다.

2-3. Corrosion Rate (부식율)

WC Roll에 있어서 표면부식은 제품의 표면품질을 좌우하는 중요한 인자이다. Fig. 5는 WC Roll의 Binder종류별 부식율을 나타낸다.

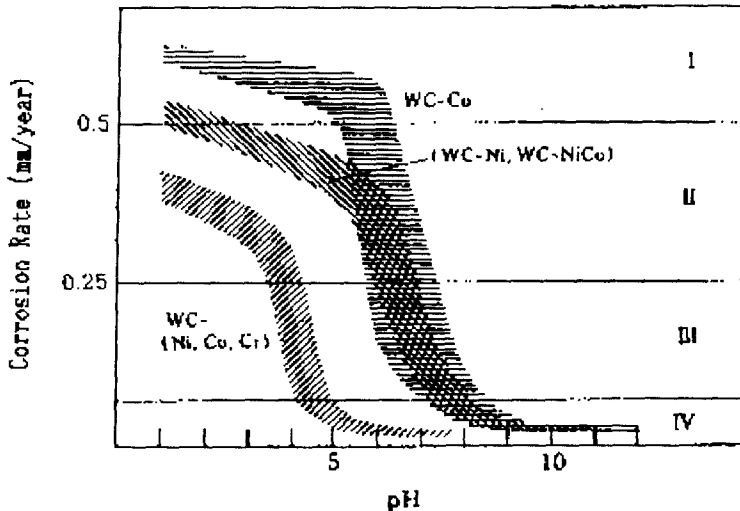


Fig. 5 Relation between Corrosion Resistance of Various Carbides and PH Value of the Solution

Co, Co+Ni Binder는 PH "7" 부근에서 부식율이 급격히 증가된다. 반면에 Co+Ni+Cr Binder는 PH "5" 부근에서 부식이 발생되기 때문에 현장 압연Line (PH6-8) 사용시 타 Binder대비 부식에 대한

문제발생은 매우 적다.

2-4. Performance의 중요한 인자

Roll에 있어서 Size, Groove Shape, Roll품질이 가장 중요한 인자이고, 작업조건에 있어서는 Roll냉각수, 감면율, Pass Line, Stock 온도, Roll조립상태가 중요한 인자가 된다. 재가공시에는 정확한 공형가공, 가공횟수, 가공량이 중요한 인자가 된다.

2-5. 티타늄카바이드 첨가시 Roll에 미치는 영향

기존에 사용하고 있는 WC-Co-Ni-Cr계 초경합금에 티타늄카바이드(TiC)를 첨가하면 기존 합금에 비해 내열, 내마모성, 내식성은 향상되나 내충격성은 감소된다. 따라서, TiC를 과도하게 첨가하면 취성이 증가되어 내충격성이 저하되어 Roll파손의 원인이 되므로 적정량을 첨가하여야 한다.

3. 적용결과

3-1. 추진배경

기존의 WC Roll사용시 마모로 인한 Roll교체횟수 과다(8회이상/일)로 생산성이 저하되며, Roll소모량 과다로 Roll비용증가, 정비부하 가중, 제품 불량발생 등의 문제점이 있었다. 이와같은 문제점을 해결하기 위하여 기존대비 내마모성이 우수한 WC Roll개발을 시작하게 되었다.

3-2. 적용방법

3-2-1. 내마모성향상 방법

기존 Roll 대비 내마모성이 우수한 Roll개발을 위하여 WC Roll의 내마모성향상 인자인 WC함량을 기존Roll 대비 최대한 향상시키고, Binder의 함량은 최대한 감소하였다. 또한, 2차적으로 고내마모 WC Roll개발을 위하여 WC의 일부분을 WC대비 내마모성이 우수한 TiC로 대체하였다. TiC는 소량 첨가시 경도 및 내열성향상에 효과가 있으나, 다량 첨가시 취성, 항절력이 문제가 되기 때문에 최적의 효과를 낼 수 있는 적정량을 첨가하였다.

3-2-2. TiC첨가 방법

TiC첨가시 비중차이(WC:15, TiC:5)로 인한 원료의 물리적 혼합과정에서 균일한 혼합이 되지 않고 중량 Unbalance가 발생되면, 고속의 사상압연 Roll로 사용시 편심으로 인한 문제가 발생할 수 있다. 이와같은 중량 불균형 문제점을 해결하기 위하여 초경공구의 인선부위 내마모성향상을 위해 사용하는 WTiC Powder를 적용하였다.

3-3. 결과

원료, 부원료 혼합, CIP, 성형, 소결, HIP, 가공/검사의 공정으로 Table 2와 같이 중량 %로 WC와 TiC의 함량을 90.5%, Co함량을 6.5%, Ni함량을 2.5%, Cr함량을 1.5%하고, WC와 TiC의 함량중 4.3%(TiC:1.3%)를 WTiC(7:3 WTiC, WC:TiC=7:3) Powder로 대체하여 사상 최종 Stand-용 WC Roll(158/87X57mm)을 제작하여 3선재공장에 적용하였다.

Table 2 Chemical Composition

구 분	화 학 성 분				비 고
	WC (%)	Co (%)	Ni (%)	Cr (%)	
기존 Roll	86.5	9.5	2.5	1.5	
개선 Roll	90.5	6.0	2.0	1.5	WC중 TiC 1.3% 포함

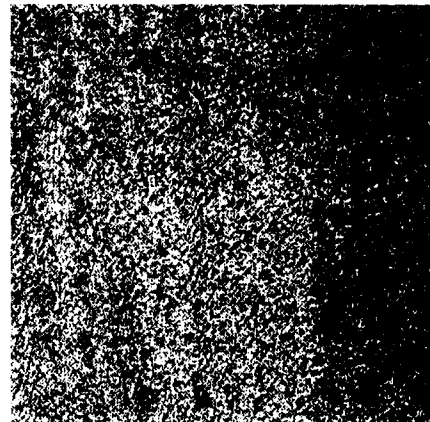
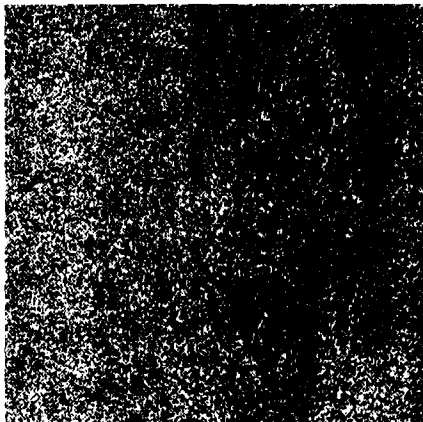
3선재공장에 적용결과 Table 3과 같이 기존 Roll대비 내마모성향상으로 1.4배의 수명향상 효과를 나타내었다.

Table 3 Performance Data of Roll

Type	Chemical Composition	Tonnage/Caliber	Remarks
Standard Roll	WC+Co+Ni+Cr	250	#3 W/R FM Final Stand
New Roll	WC+TiC+Co+Ni+Cr	350	'

Table 2에서 보는 바와 같이 기존 Roll대비 주원료인 WC와 TiC의 함량을 4%(86.5→90.5) 증가시킨 결과 내마모성이 향상되었다. TiC는 WC 대비 내마모성이 우수하기 때문에 2차적인 내마모성 향상을 위하여 TiC를 첨가하였다. TiC첨가시 비중차이로 인한 중량불균형을 방지하기 위하여 초경공구의 인선부위 내마모성향상을 위해 사용되는 WTiC Powder를 사용하여 균일한 혼합으로 균일한 조직이 되도록하여 중량불균형의 문제를 방지할 수 있었다. 사용전 기술검토시 우려되었던 WC 함량증가 및 TiC첨가에 따른 열Crack발생, 항절력 감소로 인한 문제는 발생되지 않았다. 문제가 발생되지 않은 이유는 기존 사상 최종 스탠드 Roll이 압연하중에 의한 마모보다는 고속 마찰에 의한 단순마모이고, 타 스탠드 대비 압연부하가 작아 열Crack발생이 없으며, TiC첨가시 WTiC Powder를 적정량 사용했기 때문으로 판단된다. 사상 최종 스탠드 Roll에 있어서 열Crack과 항절력은 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

기존Roll과 개선Roll의 사용후 표면마모 상태를 비교하기 위하여 Replica와 전자현미경을 이용하여 Fig. 6과 같이 공형의 표면마모 사진을 인화하였다.



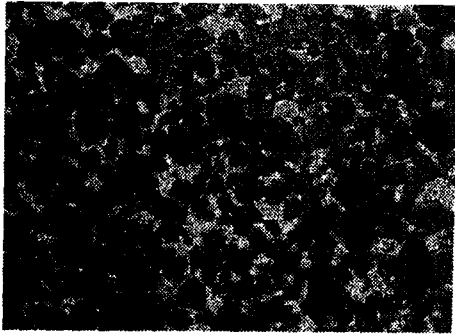
Standard Roll (x50), Tonnage:250Ton/Cal'

New Roll (x50), Tonnage:350Ton/Cal'

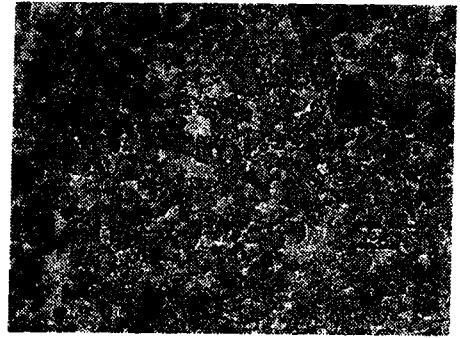
Fig. 6 Roll Surface after Rolling

Fig. 6에서 보는 바와 같이 기존Roll과 개선Roll 모두 Heat Crack, 편마모현상이 발생하지 않았고, 기존Roll 대비 개선Roll은 1.4배의 사용량에도 불구하고 양호한 표면조도를 나타내었다.

Fig. 7은 기존Roll과 개선Roll의 조직사진(x1000)이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 개선Roll이 주원료 함량이 4%증가되어 조직이 조밀함을 알 수 있다.



Standard Roll (x1000), 86.5:13.5 WC:Binder



New Roll (x1000), 90.5:9.5 WC:Binder

Fig. 7 Grain Structure

선제 FM용 고내마모 WC Roll을 3선재공장의 FM Final에 적용한 결과 기존Roll 대비 내마모성이 향상되어 사용수명이 1.4배 증가되었으며, 이에 따른 수명연장으로 Roll사용량 감소에 따른 비용절감 50백만원/년, 교체휴지감소로 인한 생산성향상 200백만원/년, 가공횟수 및 가공량 감소에 따른 공구비용절감, 제품 표면품질향상, 편경차향상 등의 우수한 효과가 있었다.

4. 결론

본 논문은 선제 사상압연용 고내마모 텅스텐카바이드롤에 대한 것이다. 선제 사상압연용 텅스텐카바이드롤의 주원료인 텅스텐카바이드 함량증가, 티타늄카바이드 첨가의 결과로 기존 사용롤 대비 내마모성, 내식성, 제품 표면품질, 편경차 등이 개선됨을 알 수 있었다. 고내마모 텅스텐카바이드롤의 사용결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 가. 텅스텐카바이드롤의 주원료함량을 4% 증가시킨 결과 수명이 1.4배 향상 되었다.
- 나. 사상압연 최종롤은 마모형태가 압연부하에 의한 마모가 아니고, 고속에 의한 단순마모이기 때문에 주원료함량 증가에 따른 항절력에도 불구하고 안전성에는 특별한 문제가 없었다.
- 다. 티타늄카바이드의 적정량 첨가는 내마모성, 내열성, 내식성향상에 효과가 있고, 취성으로 인한 내충격성저하 및 Trouble을 방지할 수 있다.
- 라. 티타늄카바이드 첨가시 WTiC Powder사용으로 비중차이로 인한 중량 불균형을 해결할 수 있었다.

참고문헌

1. Kenametal, Technical manual (1997)
2. W. Rackoff, ISS Publication, chapter16, pp. 281-306 (1992)
3. Mitsubishi Materials, Technical manual, pp. 1-30 (1992)
4. H. Y. Yang, Metallurgy, pp 446-533 (1991)
5. Dijet Patent, Cemented Carbide Material, (1976)
6. P. Schwarzkopf, Cemented Carbides, pp. 15 (1960)
7. F. D Rosi et al, Mechanism of Plastic Flow in Titanium, pp. 257 (1953)