

강판의 열간윤활압연특성 연구 I (열간압연마모 시험기의 개발과 시험)

김 철 회
포항산업과학연구원

Development of Hot Rolling Wear Simulator and Roll Wear

Chul-Hee Kim*
RIST

ABSTRACT

A laboratory scale hot strip rolling wear simulator(HRWS) was developed for the purpose of investigating the tribological phenomena occurred in production hot strip rolling mills. The HRWS' main parts are the electric heater, the mechanical descender, tandem type 2-4Hi rolling mill stands, the cooling chamber, the tension controller and coiler. By simulating the tribological phenomena in rolling process at laboratory, wear patterns, cracks, cat-ear wear, black film, effect of hot rolling oil lubrication, etc. were reproduced, and discussed on the performance of simulator.

Keywords: Hot rolling wear simulator, tribology in hot rolling, friction, wear and lubrication, hot rolling oil lubrication

1.1 머리말

열연강판압연에 있어서의 윤활의 목적은 적정하면서도 안정된 마찰계수의 확보와 롤 마모의 절감 및 살표면거칠기를 일정하게 유지함으로써 생산성의 향상은 물론 소량의 표면품질을 갖는 압연강판을 생산하는데 있다. 이를 위해서는 압연롤, 압연윤활제, 압연판재의 3자로 구성되는 압연의 트라이볼로지적 조건을 전체적으로 이해하며 계

통적으로 연구할 필요가 있다. 이제까지 열간압연윤활기술에 관한 연구는 주로 실제현장에서의 성능개선에 주안이 두어진 이른바 현장중심적연구가 대부분으로 이론적인 윤활기구 등에 관한 연구는 적어 아직도 미해결된 부분이 많이 남아있으며, 열간압연에서의 트라이볼로지적 현상의 복잡성으로 인해 극히 부분적인 연구에 그치고 있다.^(1~3) 열간

압연에 있어서의 트라이블로지현상을 실기 테스트하는 경우 타분야에서는 전혀 볼 수 없는 많은 어려운 문제에 봉착하는데 그 이유로서는 첫째, 실기시험의 경우 막대한 양의 압연유 및 압연재가 필요하며 엄청나게 많은 시간이 걸리는 것은 물론, 둘째, 만일 시험에 실패했을 경우 그 피해가 실로 막심하기 때문이다.

한편, 열간압연에서의 실기의 트라이블로지 현상을 실험실적으로 시뮬레이션하는 시험기로서는 NSC식인 두 회전원판식 마모시험기(한쪽원판은 고주파가열에 의한 열간스트립 대응, 상대원판은 압연롤 대응)와 소형압연기를 이용한 마모시험기의 두 형식이 있으나, 실제의 열간압연 조건에서의 트라이블로지현상을 재현할 수 시험기로는 후자가 보다 적절한 것으로 알려지고 있다.^(4~6)

본 연구에서는 실기의 열간압연조건에서의 여러 가지의 트라이블로지 현상을 실험실적으로 재현함으로써 현상을 규명하고, 또한 이의 이해에 기초한 내마모성소재 및 압연유의 개발과 성능 평가 등에 이용하고자 실기의 1/10크기의 열간압연운환마모시험기를 개발하고 시험하여 실기에서와 같은 현상이 재현되는지를 확인하였다.

1.2 시험기에 필요한 성능

실기에 있어서의 롤의 살 표면의 거칠어짐 현상 및 마모를 재현하기 위해서는 시험기가 만족해야 하는 몇가지 조건이 있다. 그 가운데 특히 중요한 항목은 다음과 같다.

- 1) 압연 온도의 상사, 2) 압연 압력의 상사,
- 3) 신생면의 비율 즉 압하율의 상사, 4) 롤 표면의 히트 사이클 (Heat cycle)의 상사,

5) 유입유막두께의 상사 등이다.

1)의 조건에 대해서는 압연재를 실기 상당의 온도까지 가열하는 것과 롤지름, 압연재두께, 압연 속도의 비를 동일하게 함으로써 상사성을 만족시킬 수 있다. 2)에 대해서는 실기에서와 마찬가지로의 압연 압력을 가할 수 있도록 유압압하장치를 설계하고, 롤지름과 압연 판재의 두께의 비를 실기와 마찬가지로 함으로써 상사성을 만족시킨다. 3)에 대해서는 30% 가까운 압하율을 달성할 수 있는 압연기를 필요로 하며, 이로써 상사성이 만족된다. 4)에 대해서는 연속 압연 조건일 것과 롤지름, 압연재 판두께, 압연 속도의 비를 실기와 동일하게 함으로써 상사성을 만족시킨다. 5)에 대해서는 실기 상당의 워터 인젝션(Water injection)법에 의한 급유법을 채용함으로써 상사성을 만족시킨다.

이상과 같은 상사 조건을 고려한 후, 다음에 설명하는 바와 같은 열간압연운환마모시뮬레이터를 제작하였다.

1.3 시험기의 개요

제작한 열간운환마모 시뮬레이터의 전경과 개략도를 그림 1 및 2에 각각 나타낸다.

1.3.1 사양

시험기는 소형밴드스트립을 열간압연온도(최대 1100℃)까지 가열하는 전기가열로와 생성된 녹을 제거하는 기계식 디스케일러, 2대의 탠덤형 4-Hi 압연스탠드와 압연후의 스트립을 냉각하는 냉각실 및 일정한 장력으로 스트립을 감는 권취기로 구성함으로써 실제 열연공장의 축소모델이라 할 수 있다.

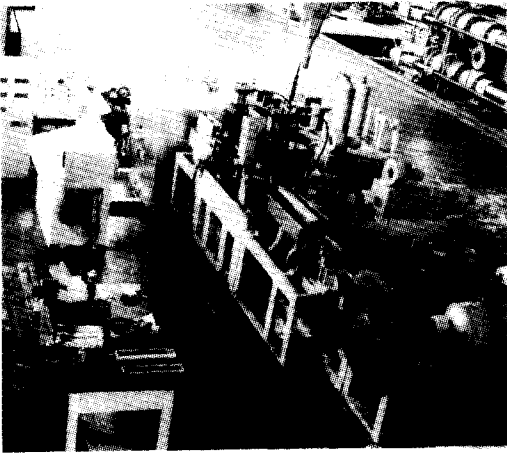


Fig.1 View of Hot rolling wear simulator

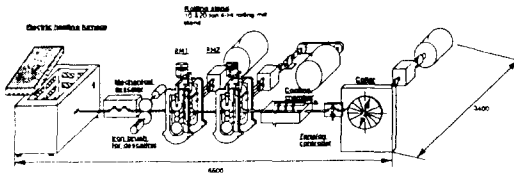


Fig.2 Schematic of HRWS system

1.3.2 시험기의 특징

시험 제작한 시험기는 실기 치수의 1/10크기로 만드는 것을 기본으로 하였다. 실기의 1/10크기로 한 것은 롤지름, 압연재 두께, 압연 속도이다. 실기와 다른 것은 롤의 형태가 슬리브(Sleeve)와 아버(Arbor)로 된 복합롤형식인 것과, 시동시 압연재가 상온의 상태에서 롤에 미리 물려져 있으며, 압연된 재료를 권취하는 코일러에는 언제나

전방장력이 걸려 있다는 것이다. 실기와 동일 조건으로 할 수 있는 것은 평균압연압력, 압연재온도 등이다.

본 시험기는 1/10크기이기 때문에 양적으로 계산하면, 실기의 경우에 비해 1/1000의 재료 소비로 실험이 가능하다.

슬리브 형태의 롤을 사용함으로써 임의의 압연 길이에 대한 롤표면의 마모 상태의 검토가 가능하며 연삭에 의한 롤의 재사용도 가능하다.

본 시험기는 10톤급 및 20톤의 4-Hi 압연기를 탠덤(Tandem)배열하여 연속열간압연이 가능하도록 시스템을 구성하였으며, 단독구동 또한 가능하도록 설계되었다. 단독으로 구동하는 경우, 20톤급의 압연기는 70% 이상의 대압하력을 얻을 수 있도록 설계 제작하였다.

더욱, 본 시험기는 강의 열간압연운환마모 시험기로서 개발하였지만, 냉간압연, 타 금속의 압연에 있어서의 마모 시험기로서도 활용이 가능하다.

1.4 성능시험

1.4.1 압연 재료

실험에 사용한 압연재료는 냉간압연 저탄소강인 경우 두께1mm, 폭24mm 길이500mm 인 것을 내경500mm로 권취한 것이다.

1.4.2 물재료

롤 슬리브의 재료는 아다마이트(Adamite), Hi-Cr주철롤의 2종류를 사용하였다.

아다마이트 및 Hi-Cr주철롤의 롤슬리브는 실제롤의 셸로부터 절단하여 방전가공한 것으로, 슬리브의 축 방향이 실제롤의 반지름 방향이 된다.

1.4.3 마모량의 평가

롤의 마모량은 롤표면의 마모프로필을 표면거칠기측정기로 측정하여 판폭에 대한 평균마모깊이로 평가한다. 롤표면의 프로필을 측정하여 단면적을 구하고, 판폭에 대한 평균깊이를 마모깊이로 한다. 롤표면에 대하여 8개의 평균깊이로부터 평균마모깊이를 구한다. “평균마모깊이”는 다음과 같은 식으로 정의한다.

$$\text{평균마모깊이}(\mu) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(\text{롤의 마모단면적})_i}{(\text{판폭})_i}}{N}$$

여기서, N=8로 한다.

1.5 시험결과 및 고찰

1.5.1 롤의 마모프로파일

기름농도0.5%, 압연하중 2ton, 압연 속도 200 rpm, 스트립가열온도 900 ℃의 압연조건(유압연)에서의 아다마이트롤에 대한 마모프로파일을 일정한 거리만큼 압연을 행한후 표면거칠기 측정기로 측정비교하였다. 그림3에 마찰거리에 따른 마모프로파일의 변화를 나타낸다. 실기에서와 마찬가지로 전체 압연마찰거리가 길어짐에 따라 롤의 옛지부에서의 마모가 중심부에 비해 현저하게 나타남으로서 유압연에 있어서 롤의 중심부와 옛지부에 대한 구분운환의 필요성을 분명히 하였다.

그림 4에 압연하중 2ton, 롤 회전속도 1.24 m/s, 압연유 농도 0.2%, 총 마찰거리 4000 m에 대한 아다마이트롤 및 Hi-Cr롤의 마모량을 비교하여 나타내었다. Hi-Cr롤은 아다마이트롤에 비해 30% 이상 내마모성이 우수함을 보였다.

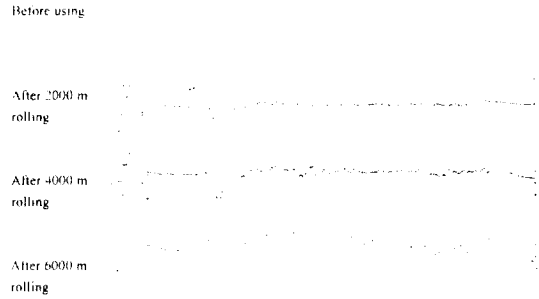


Fig. 3 Increase of roll wear with rolling distance

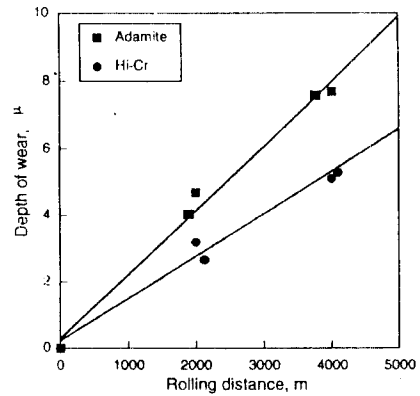


Fig. 4 Comparison of wear between adamite and Hi-Cr roll



Fig. 5 Hot rolling oil lubrication system

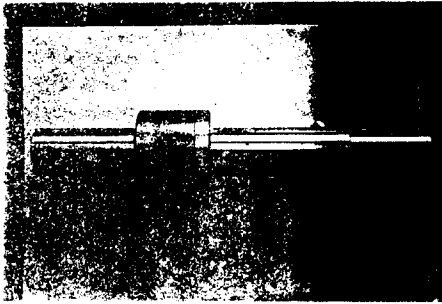


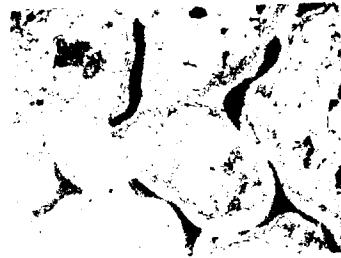
Fig.6 Work roll surface after hot rolling wear simulation test

그림5에 유압연의 분사상황을, 그림 6에 열간 윤활마모시뮬레이션 시험후의 작동롤의 표면 형상을 각각 나타낸다.

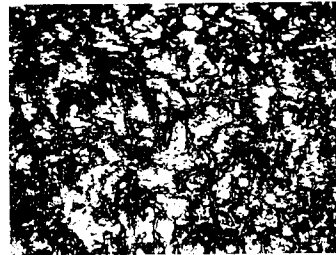
1.5.2 롤표면 거칠기변화

압연시험후의 롤표면의 거칠기변화를 실기롤과 비교하였다. 아다마이트롤의 경우, 그림 7에서보는 바와 같이 기지에 덴드라이트조직을 한 카아바이드가 분포하고 있으며 주로 이러한 카아바이드의 파손 및 기지의 소성변형에 의해 전체적인 마모가 진행되는 것으로 관찰되었다. 그러나 이와 같은 표면거칠기 변화는 실기롤에서도 관찰되지만 보다 크게 문제로 되는 아다마이트롤 특유의 특징적인 거북등 모양의 히트 크랙(Heat Crack)은 관찰되지 않았다. 이 이유로서는 우선, 압연패스가 실제작업에서만큼 충분치 못하고 또한 압연온도조건이 실제사용조건에 비해 상당히 낮았기 때문에 고온판재와의 접촉 및 냉각수에 의한 냉각이 반복되는 열응력이 상대적으로 낮아 실기롤에서와 같은 대규모의 크랙이 발생하지 못한 것으로 생각된다.

한편, Hi-Cr롤의 경우, 그림 8에서 보는

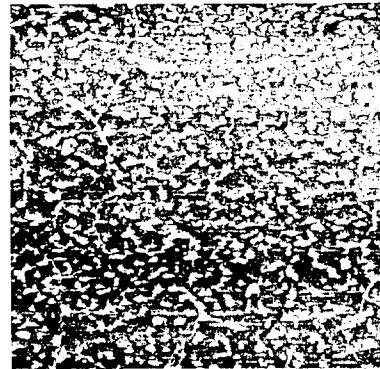


after 169,644ton rolling

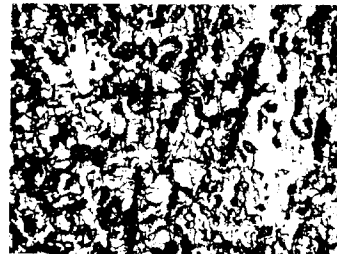


x50 after 4000 m rolling

Fig.7 Photograph of the surface of adamite roll



surface of roll at center of roll, x10



x50 from simulation test

Fig.8 Surface of Hi-Cr roll

바와 같이 Mn_3C_2 타입의 단단한 카아바이드의 파손과 어브레시브마모에 의해 롤마모가 진행되는 모양은 실기롤에서 관찰되는 바와 유사한 양태로 진행됨을 나타내었다. 향후 마모미커니즘에 대한 보다 자세한 연구를 위해서는 롤표면에 수직방향인 표면하층에서의 크랙의 진전상황을 보다 자세히 살피고자 한다.

1.5.3 마찰계수의 변화에 미치는 압연하중과 속도의 영향

무윤활인 경우(롤냉각수 만에 의한 물윤활)에 대하여 압연속도에 따른 마찰계수의 변화를 조사하였다. 속도의 변속범위는 0에서 800rpm (0 ~ 2.5 m/s)의 범위에서 200 rpm씩 단계적으로 속도를 증가시켰다. 압연하중은 각각 2, 4, 6 ton의 3경우에 대하여 시험을 행하였다. 그림 9에 나타내는 바와 같이 마찰계수는 속도가 증가함에 따라 포물선형으로 서서히 증가하지만 고속으로 갈수록 그 증가율은 점차 감소함을 나타내었다. 또한 마찰계수는 압연하중의 증가와 함께 거의 비례적으로 증가함을 나타내었다.

1.5.4 열간윤활압연

열간윤활압연에 의한 압연하중 및 동력절감효과를 조사하기 위하여 일정 압연압력, 압연속도, 기름농도, 스트립가열온도 조건(4ton, 200rpm, 0.5%, 900℃)에서 무윤활과 윤활조건에서의 압연하중 및 동력의 변화를 살펴보았다. 압연유의 공급방법은 실기에서와 마찬가지로 워터인젝션법(Water injection)에 의해 기름과 물을 혼합한 분산액을 압연롤에 분사하였다. 분사위치 또한 실기에서와 마찬가지로 백엿롤 후단부에 분

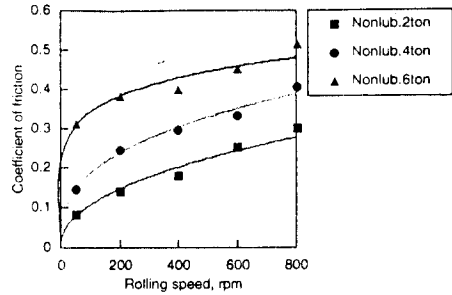


Fig. 9 Variation of coefficient of friction with rolling speed

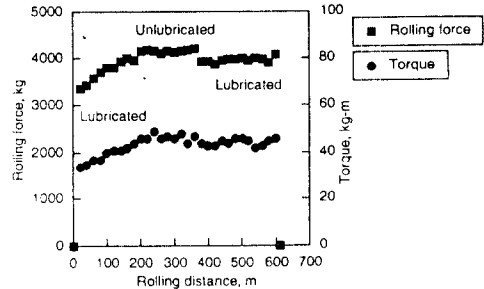


Fig. 10 Effect of hot rolling oil lubrication

사함으로써 백엿롤과 접촉하는 작동롤에 윤활유막이 고르게 흡착전사되도록 하여 이 윤활막에 의한 톨바이트내의 윤활이 이루어지도록 하였다. 윤활, 무윤활, 윤활의 분사패턴으로 압연을 실시하여 압연하중 및 압연동력의 변화를 관찰하였다. 그림 10에 보이는 바와 같이 운전의 초기에서는 유압연의 경우에도, 압연거리가 증가함에 따라 압연하중 및 동력은 점진적으로 증가하였으나 200m를 압연한 후 부터는 일정한 값을 유지하였다. 한편, 압연유의 공급을 끊고 물만으로 압연을 행했을 경우(무윤활압연) 압연하중 및 동력

은 증가하였지만, 윤활압연을 행하면 양자모두는 다시 감소함으로써 윤활압연에 의한 압연하중 및 동력절감효과를 분명히 나타내었다.

1.6 맺음말

이상과 같이 실기의 열간압연조건에서의 트라이볼로지현상 (마찰, 마모 및 윤활)을 실험실적으로 재현할 수 있는 열간윤활마모시물레이터를 제작하고, 롤의 마모 및 윤활압연효과 등의 성능시험을 행하여 그 유효성을 검토하였다. 향후 본 시험기를 이용하여 실기시험에서는 얻기 힘든 기초 데이터를 확보하고 현상을 규명함으로써 이를 통한 이해의 실기에의 적극적인 활용을 크게 기대하면서, 이 시험기의 구체적인 시험항목 및 활용용도로서는

첫째, 각종 압연롤 재질의 마찰, 마모특성 비교시험과 새로운 재질의 고내마모성 롤재질의 개발,

둘째, 각종 열간압연 윤활제의 트라이볼로지 특성시험과 신종 압연유제의 개발

셋째, 각종 롤재질의 흑피생성 재현시험과 기구규명,

넷째, 고윤활압연에 의한 Ferritic rolling 기술개발 및 이와 관련한 고윤활압연유제 개발

다섯째, 연연속 압연기술개발을 위한 소형 Pilot압연설비로서의 활용

여섯째, 냉간압연 트라이볼로지 특성 시험,

일곱째, 각종 압연조건에서의 최적 윤활조건 설정,

여덟째, SUS강재 열간압연에서의 늘어붙음현상 규명 및 이에 대한 대책수립

등을 들 수 있다.

참고문헌

1. C. L. Robinson, F. J. Westlake, "Roll Lubrication in Hot Strip Mills," CEL/PH/1/73
2. W. L. Roberts, "Tribological Considerations in the Hot Rolling of Low-Carbon Steels," Journal of the American Society of Lubrication Engineers, Nov. 1977, pp. 575-580
3. A. K. E. H. A. El-Kalay, L. G. M. Sparling, "Factors Affecting Friction and Their Effect upon Load, Torque, and Spread in Hot Flat Rolling," Journal of the Iron and Steel Institute, Feb. 1968, pp. 152-163.
4. J. Kihara, K. Doya, K. Nakamura, T. Yoshihara, Y. Sano, "Roll Wear in Hot Strip Test Mill", Tetsu-to-Haganae, Vol. 69 (1983), No. 7, pp. 782-789.
5. Y. Sano, T. Hattori, M. Haga, "Characteristics of High-Carbon High Speed Steel Rolls for Hot Strip Mill," ISIJ International, Vol. 32 (1992), No. 11, pp. 1194-1201
6. H. Noguchi, Y. Watanabe, "Friction and Wear of Roll Materials for Hot Working Roll at High Temperatures," Kwasaki steel review, Vol. 19(1987), No. 3, pp. 195-201.