

냉간압연Tribo-Simulator에 의한 냉간압연유 윤활성 평가시험

김철희

POSCO기술연구소

Test for Lubricity Evaluation by Cold Rolling Tribosimulator

Chul-Hee, Kim

Technical Research Laboratories, POSCO

Abstract

Several simulation techniques have been developed which are not practical deformation processes but are designed to embody specific tribological aspects.

Sliding rolling type friction test machine (Cold rolling tribosimulator) was developed to simulate the tribological phenomena at the roll bite in real mill by laboratory scale.

A rolled material is fed at a low speed of Max. 1/20 to that of roll speed, so as to obtain simultaneous plastic deformation in the material during rotation of the rolls in simulator.

New cold rolling tribo-simulator is effective for evaluation of the lubricity of lubricant in cold rolling process.

Keywords: Cold rolling lubricant, coolant, coefficient of friction, cold rolling tribosimulator

1. 서론

최근의 냉간압연 작업에서 고생산성, 고표면품질화, 고부가가치화가 요구됨에 따라 압연부하조건은 더욱 고압하 및 고속 압연화되고 이와 같은 조건하에서 우수한 형상 및 치수 정밀도를 만족해야 한다.

이와 같이 점점 가혹해져 가는 압연조건을 극복하고 가격 및 품질면에서 경쟁력있는 제품을 생산해내기 위해서는 압연롤과 압연판재 및 그 양자 사이에 개재하는 윤활재 간의 냉간 압연시 발생하는 냉간압연 Tribology (마찰 마모 및 윤활) 문제의 해결이 매우 중요한

과제로서 인식되고 있다.

본 연구에서는 강판의 냉간압연유에 대한 윤활성을 마찰계수를 척도로 실험실적으로 평가하기 위하여 미끄럼 압연식 냉간압연 Tribosimulator를 개발하였다. 이하에 그 결과를 보고한다.

2. Cold Rolling Tribosimulator의 개발

Simulator에 의해 마찰계수로서 냉간 압연유의 윤활성을 평가하기 위해서는 롤과 재료계면간에 윤활조건 인자로서 기하학적 형상의 상사성, 재료의 소성변형에 의한 신생면의 노출, 넓은 접촉면적, 접촉면에서의 상대미끄럼속도, 입구부에서의 도입유량, 가공도 등을

고려할 필요가 있다.

또한 Simulator는 실기에 있어서의 물과 재료간의 틈새에서 발생하는 계면상황을 되도록 충실히 재현할 수 있어야 하며, 소형으로 실험비용이 적게 들어야 할 것등이 요구된다.

상기의 요구조건을 만족하는 시험기로서는 압연기와 마찬가지로 2개의 원통롤을 이용하여 재료를 소성변형시킬 필요가 있다.

한편, 물과 재료계면간의 상대 미끄럼 속도를 실기와 일치시키는 방법으로는 후방장력을 가하여 재료속도를 롤주속에 비해 가급적 저속으로 유지하면서 압연함으로써 계면에서의 상대속도를 실기와 일치시키는 방법을 채택하였다.

2.1 마찰계수의 측정방법

Simulator에 의한 마찰계수 측정은 Pavlov가 제안한 Back tension부가방식에 의한 강제 미끄럼법에 따라 압연하중과 장력과의 관계로부터 마찰계수를 직접 산출하거나 Azushima의 식으로부터 구할 수 있다. (그림2 참조)

(여기서, μ : 마찰계수, P: 압연하중, S1:후방장력, α :물림각)

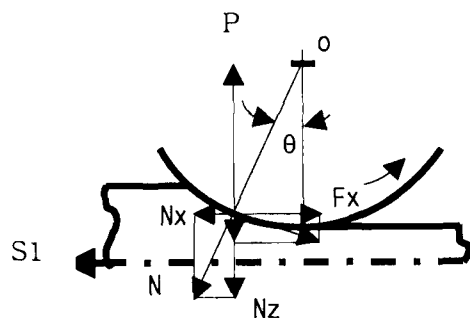


Fig.1 Force acting in the roll bite during skidding

$$\mu = \frac{S_1 + 2P \tan(\alpha/2)}{2P - S_1 \tan(\alpha/2)}$$

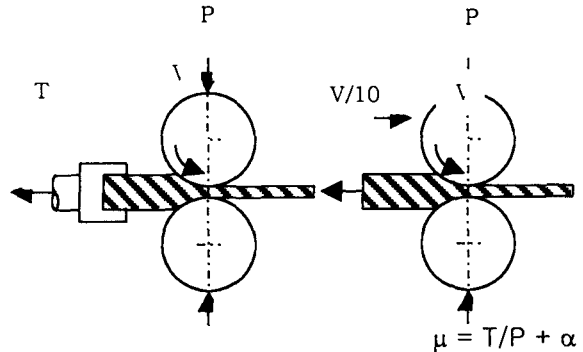


Fig.2 Determination of friction by inducement of skidding during rolling

Table1 Specification of Cold rolling tribo-simulator

Mill 스탠드	형식	4Hi, 2 stand, Tandem rolling, Tension control, 유압servo제어방식, 독립구동
	압연롤	Work roll: $\phi 90 \times 258$ (몸통길이), SUJ2, Hrc 50-52 Backup roll: $\phi 230 \times 240$ (몸통길이), SCM 440, Hrc 60-62
	Mill 구동모터	AC motor 15kW x 4, 6p, 1200 rpm
	속도제어	AC motor controller
	압연하중	Max. 40 tf
	압연속도	Max. 200 mpm
	압하방식	Electro-hydraulic servo control
Tension & Pay-off reel	롤교체방식	전동식
	제어모드	압연하중, Gap
Tension & Pay-off reel	구동모터	18.5 kW, 6p, 1200 rpm
	감속기	감속비 3:1
	Coil 내외경	내경 $\phi 260$, 외경 $\phi 600$
	구동방식	유압식

2.2 시험장치의 제원과 구성

표1에 개발한 장치의 제원을 나타낸다.

Cold rolling tribo-simulator는 40톤 용량의 소형 4Hi 압연스탠드 2단을 연속

배열한 Tandem 압연스탠드와 스탠드 양단의 Pay-off reel과 Tension reel, roll exchanger로 구성되는 기계장치부와 Mill motor등의 전기제어 장치부 및 운전조작반으로 구성된다.

작동롤의 치수는 지름 $\phi 90\text{mm}$, 몸통길이 258mm이며, 보강롤의 치수는 지름 $\phi 230\text{mm}$, 몸통길이 240mm로 하였다.

Payoff reel, #1압연스탠드, #2 압연스탠드, Tension controller, Coiler를 연속적 배치하여 1방향 연속코일압연 작업이 가능하도록 하였다. 연속압연작업의 경우 최대 압연속도는 200mpm으로 설계하였다. #1 압연스탠드는 후방장력을 부가하는 압연기로 사용하고, #2 압연스탠드를 실제 압연을 행하는 스탠드로 사용한다.

압하방식은 유압식 압하장치를 사용하여 압연하중을 가하며, 압연속도의 설정은 압연밀의 구동 AC Motor와 AC motor controller에 의해 무단으로 속도를 제어하여 압연판재의 속도에 대한 롤주속을 임의로 가변속 할 수 있도록 설계하였다.

그림3에 Cold rolling tribo-simulator의 전체 Layout을 나타낸다.

Cold rolling tribo-simulator의 후방에 유압 Servo제어시스템용 Hydraulic power unit와 보조 유압제어기기용 Hydraulic power unit이 별도로 설치되고, 우측면에는 Mill motor 및 Reel motor 그 밖의 전기장치의 제어반이 배치되어있다.

또한 시험장치의 전면 우측전방에 시험기 전체를 운전하는 운전반이 배치되어있다.

Strip coil의 연속압연을 위해 압연 스탠드간 및 스탠드와 권취릴 사이에 Tension검출기가 설치되어 장력을 제어한다.

압연밀의 구동은 15 kW 용량의 AC motor 2대를 감속기를 통해 합친 다음 Spindle을 통해 Work roll을 구동한다.

압연밀의 압하는 Mill housing상부 및 Backup roll chock에 설치된 유압실린더와 유압Servo valve, position pickup으로 구성된 유압Servo 제어방식으로 행하며, 압연하중 및 Roll gap의 제어가 가능하도록 구성되어있다.

2대의 압연밀은 하부가 Coolant tank의 기능을 겸하는 견고한 용접 철구조물 위에 설치되어있다.

또한 압연롤 교체를 위하여 전동식 롤교체장치가 압연롤스탠드 전방에 배치되어있다.

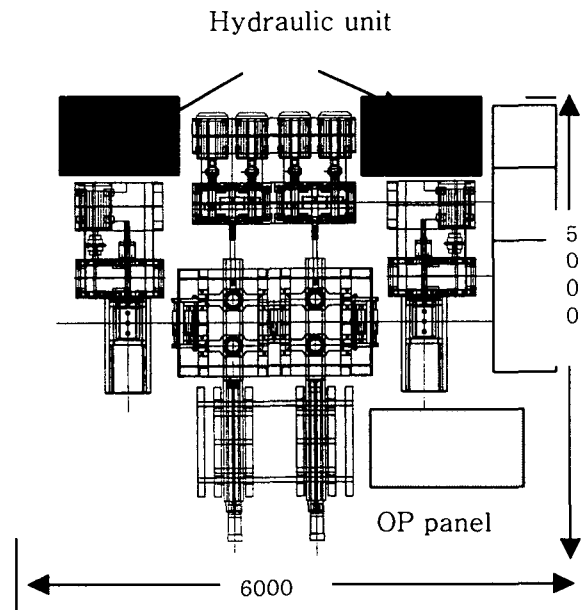


Fig.3 Layout of cold rolling tribo-simulator

2.3 Simulator의 제작

제작한 Cold rolling tribo-simulator의 정면사진을 그림4에 나타내며, 그림5에 시험장치의 운전반을 나타낸다.

Simulator의 소형압연기에 대한 압하력, 롤갭설정 및 압연속도 조절을 위한 전기제어시스템의 블록선도를 그림6에 나타낸다.

시험장치의 운전모드는 연속압연시험모드와 각 압연스탠드 단독구동모드로 나뉜다.

냉간압연유의 순환성 평가시험시에는 단독 구동방식 모드로 전환하여 #1 압연스탠드를 후방장력 부하용으로, #2 압연스탠드를 실제 압연기로서 기능하도록 한다.

한편, 냉간압연유인 Emulsion coolant를 압연롤바이트에 공급하는 system인 순환식 분사시스템회로를 그림7에 나타낸다.

압연유 분사시스템은 상하부롤에 분사하는 coolant유량을 임의로 설정할 수 있음은 물론, 노즐 분사위치, 분사각도 조절이 가능하다.

시험유의 농도조정과 온도설정, 교반을 행하며 용적은 100 liter이다.

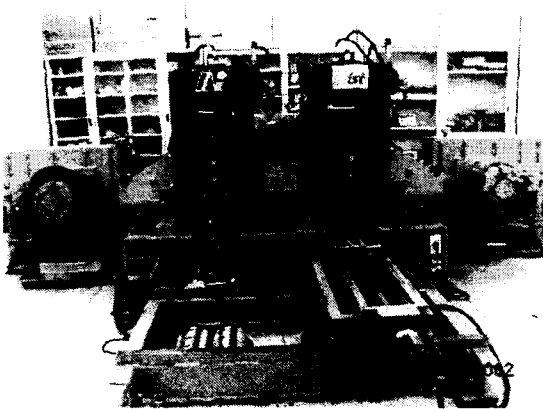


Fig.4 Cold Rolling Tribo-Simulator

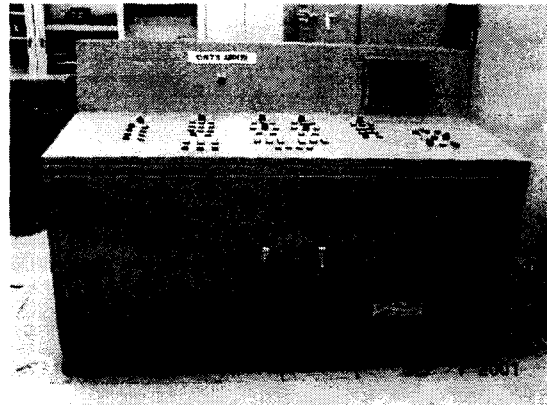


Fig.5 Operation panel

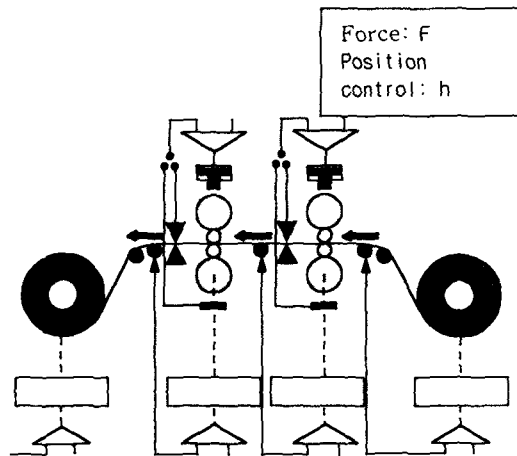


Fig.6 Block diagram of roll force, gap and speed control

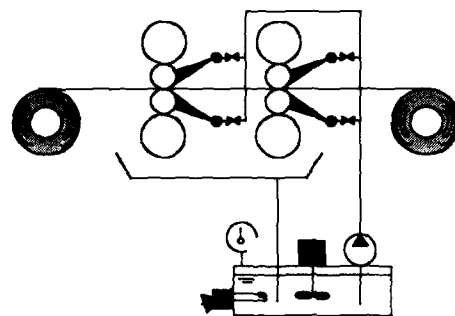


Fig.7 Coolant supply system of cold rolling tribo-simulator

3. 시험 및 결과

3.1 마찰계수 측정

Table 2. Test condition

압연롤	φ90 x 258 (몸통길이), SUJ2, Ra 0.5
압연유	50 cSt at 40 °C
Coolant농도	10%
압하율	5%
압연속도	113rpm
압연소재	SPCC Coil strip, CR 0.7tx100(w)

표2에 보이는 시험조건하에서 압연거리에 따른 장력변화를 측정된 결과를 그림8에 나타낸다.

그림에서의 0점은 시험개시 10초 경과후 정상상태로 간주되는 구간을 시점으로 하여 매 50cm간격으로 300cm까지 측정된 결과를 나타내며, 정상상태 구간에서의 장력은 거의 변동이 없는 일정한 값을 나타내었다.

그림9은 상기의 시험조건과 속도 34rpm에서의 마찰계수 변화추이를 압연거리에 대하여 측정된 결과를 나타낸다. 그림에서 나타내는 바와 같이 동일한 압연조건에서 속도가 큰 경우, 마찰계수값은 낮은 값을 나타내었으며 마찰계수 변동폭은 ±5% 이내로 일정하였다.

한편, 그림10에는 마찰계수의 속도의존성을 측정된 결과를 나타내 보이며, 속도의 증가와 함께 감소한후 일정한 값으로 추이하는 경향을 나타내었다.

그림11은 마찰계수의 속도의존성에 대하여 압하율의 영향을 측정된 결과를 나타낸다. 위에서와 마찬가지로의 시험압연재에 대하여 압연유 농도 3%, Coolant온도 45 °C인

조건에서 압하율을 2%, 4%, 6%로 각각 변화시켰을 때, 마찰계수는 압연속도의 증가와 함께 감소한 후 일정한 값을 계속 유지하지만 압하율의 증가와 함께 마찰계수는 증가함을 나타내었다.

상기의 시험결과로부터 얻은 결과는 기존의 데이터와 잘 일치함을 알 수 있었다.

그림12은 점도가 다른 2종류의 냉간압연유 (A oil: 45 cSt, B oil 30 cSt)에 대한 마찰계수의 속도의존성을 측정된 결과를 나타내며, 점도가 높은 쪽이 마찰계수가 낮은 값을 나타내었다.

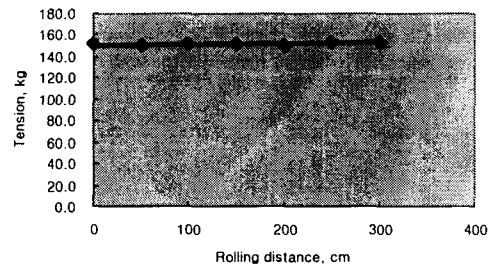


Fig.8 Variation of tension with rolling distance at 5% draft and 113 rpm rolling speed

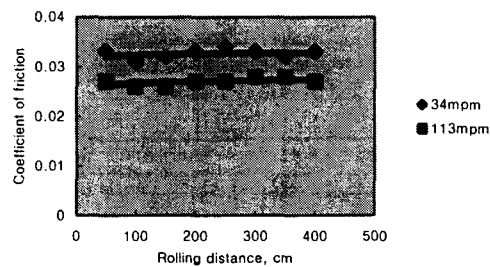


Fig.9 Variation of coefficient of friction with rolling distance

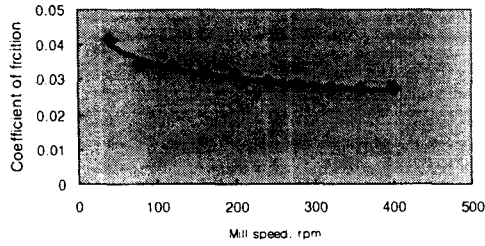


Fig. 10 Speed effect in experimental rolling of low-carbon steel strip

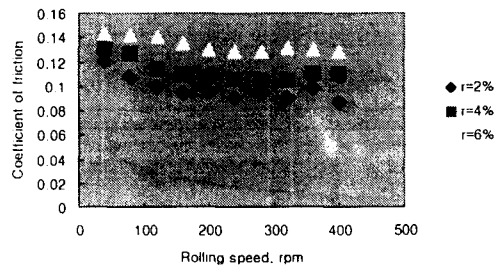


Fig. 11 Speed effect in experimental rolling of low-carbon steel strip with different draft

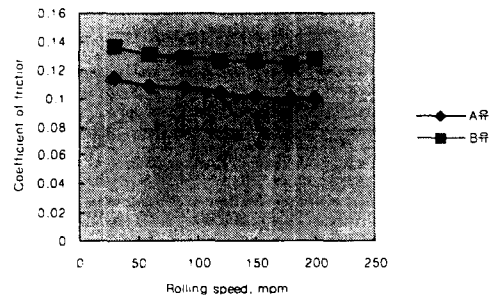


Fig.12 Coefficient of friction of cold rolling oil lubricants

4. 결론

냉간압연유의 윤활성을 마찰계수를 척도로 평가할 수 있는 미끄럼압연식

Cold rolling tribosimulator를 개발하였다. 향후 이를 이용한 냉간압연유의 윤활성 평가시험은 물론 압연롤, 압연소재 및 압연유간의 냉간압연 tribology현상규명을 위한 기초시험기로 활용하고자 한다.

참고문헌

1. T. Takimoto, K. Kawashima, K. Okamoto, T. Saito, T. Kaneko: Journal of the JSTP, vol.40, no. 457(1999-2), p93
2. A. Azushima: 鐵と鋼, vol. 74(1988), No.4, p696
3. W. L. Roberts: Cold Rolling of Steel, Marcel Dekker (1978)
4. Vladimir B. Ginzburg: Steel-Rolling Technology, Theory and Practice, Marcel Dekker (1989)
5. John A. Schey: Tribology in metalworking-Friction, Lubrication and Wear, ASM (1983)
6. H. Yamamoto: Journal of the JSTP, vol.39, no.455 (1998-12), p1192
7. Memorial Symposium of the 100th Rolling Theory Committee-Development and Prospect of Theory and Technology of Steel Rolling: ISIJ (1996-12)
8. 日本鐵鋼協會編: 焼付き現象のメカニズムに迫る-冷間壓延における焼付き機構研究會シンポジウム(1999)
9. E. S. Nachtman, S.Kalpakjian: Lubricants and Lubrication in Metalworking Operations, Marcel Dekker (1985)
10. W. R. Roberts: Flat Processing of Steel, Marcel Dekker (1987)