

고속도공구강롤을 적용한 열간유압연 사용특성 연구

유재희* , 황상무 , 김철희

Investigation of Effect of Hot Rolling Oil of on Rolling with HSS Roll

J. H. You [POSCO], S. M. Hwang [POSTECH], C. H. Kim [RIST]

ABSTRACT

Keywords : Hot rolling lubrication, High speed steel roll, Roll wear, Roll force, Roll torque.

Recently, hot rolling oil lubrication technology is required to face with the new environments such as the rapid introduction of high wear resistant high speed steel roll the development of continuous hot rolling technology. In the hot strip mill, according to rolling and quality required conditions are constrict, Roll material of hot rolling finishing stand is changing Hi-Cr Roll to High Speed Steel [HSS] Roll. The problem of HSS Roll of roll force and strip scale defects are increasing in hot strip mill, So we have tested HSS Roll in hot rolling simulator as rolling condition, rolling speed, draft, hot oil concentration. to reduce roll force and prevent scale defects. We get some merit rolling force, rolling torque, roll wear reduction, roll and strip surface roughness and hot rolling critical oil concentration 0.4%. Finally we are going to investigate the effect of hot rolling oil of on rolling with HSS Roll.

1. 서론

최근 열연공장에서 압연 및 품질 요구조건이 엄격해짐에 따라 마무리압연 스탠드에 사용하는 롤의 재질이 종전의 고크롬 주철롤 [Hi-Cr Roll] 에서 내거침성이 우수한 고속도강계 주강롤 [HSS Roll] 로 개발되어 적용되고 있다. 그런데 HSS Roll 적용시 압연하중이 증가되고 제품Scale이 발생 되고있어 이것을 감소시키고자 유압연을 실시, 그 사용 효과를 파악하기 위하여 열간마모 시험압연기를 이용, 현장조건과 유사한 압연조건으로 압하율, 압연유농도, 압연속도등의 변화에따른 압연하중, 압연토크, 롤마모, 롤 및 제품 조도변화, 연속 압연시 롤 마모변화에 따른 제품결합 발생해석으로 HSS Roll의 유압연 사용특성등을 확인하였다.

2. 이론

2.1 혼합윤활⁽¹⁻⁷⁾

롤과 재료 사이의 유막 틈새가 롤과 재료의 표면거칠기와 같거나 그보다 작은 경우의 접촉에서는 경계윤활과 유체윤활이 혼재하는 혼합윤활영역으로 된다. 이러한 혼합윤활영역에서 접촉상태를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 1 이다. 이때의 마찰계수 μ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\mu = \frac{\tau}{P} = \frac{\tau_f C + \tau_f(1-C)}{P_f C + q(1-C)}$$

여기서, q 는비접촉부의 윤활제의 압력, P 는 평균면압,
 τ 는 평균마찰응력, C 는 접촉율을 나타낸다

$q = 0, \mu = \tau_f/P_f$:경계윤활, $q > 0, 0 < C < 1$: 혼합윤활

이러한 연구들은 윤활제의 점도가 높아지면 평균 유막 두께가 증가하여 유체윤활이 지배적인 형태로 될을 보였다. 그리고 압연 속도도 유막에 큰 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 저속인 경우 윤활제의 대부분은 모두 빠져 달아나버려 롤과 스트립의 틈새 사이에는 얇은 유막만이 형성되게 된다. 즉 ηV 값이 작은 영역에서는 경계윤활이 지배적이지만, ηV 가 증가하면 유막두께가 보다 두꺼워지는 혼합 윤활영역으로 이동한다.

2.2 압연윤활특성

2.2.1 Emulsion 유입기구

일반적으로 압연에서는 윤활제로서는 O/W형 Emulsion이 사용되고 있다. Fig. 2에 표시한 것처럼 노즐에서 분사된 Emulsion은 압연 재료에 충돌후 기름성분의 일부분이 판 표면에 부착 (Plate out)하여 수분은 없어진다. 탄성유체 윤활을 도입하여 압연시의 롤 바이트안의 마찰윤활상황을 압연의 역학적특성 및 윤활유 물리적특성에서 해석하고자 하는 조건에있어, 접촉각의 입구에서 벌어짐효과에 의하여 기름성분 위에 Emulsion이 유체윤활적으로 빨려들어가고 롤과 재료간에서유체압력이 높게 되므로서 상전환(예를들면 O/W → W/O)이 일어나 고농도의 기름이 접촉호내에 빨려들어 간다고 설명되고있다. (8)

2.3 열간압연윤활기구 (3, 4)

열간압연의 윤활기구에 대해서는 아직도 분명하게 밝혀지지 않은 부분이 많이 남아 있다. 그러나 혼합유나 Emulsion이 롤 바이트에 공급되는 대부분의 열간압연의 경우에는 혼합윤활형태가 지배적인 것으로 알려져 있다. 열간압연에서 보통 기름은 그 사용 온도보다 훨씬 고온에서 사용되기 때문에 금속간 접촉은 불가피하다. 그럼에도 불구하고 윤활효과가 나타나는 이유는 롤바이트에 공급되는 기름의 대부분은 타서 없어지지만 고온강판(800~1000℃)과 롤이 접촉하는시간이 1/100초 이하로 짧기 때문에 타고남은 일부의 압연유와 접촉해서 생긴 반응생성물과 그밖에 잔재들의 혼합물 및 압연유의일부가 잔류하여 윤활효과를 낼수 있게됨으로서 롤과 강판과의 마찰을 경감하는 것으로 추정되고 있다.

실제의 열간압연에서 롤 바이트안에서 윤활제로 유효하게 작용하는 윤활유에 관해서는 전혀 확실하지 못하나 부착잔존성 실험에서는 약0.25 μ m의 두께라고 추정되며 잔존율은 0.1%(9)이하라고 말하고 있으므로 양적으로는 극히 적은 것이라고 생각된다. 그러나 열간압연의 워크롤 및 압연재료의 표면 거칠기는 냉간압연의 경우와 비교하여 매우 거칠기 때문에 열간압연에서는 유체 윤활영역은별로 존재하지 않고 경계윤활 영역이 주 인것으로 보인다. 그리고 열간유압연의 효과로는 압연 하중의 감소, 압연 동력의감소, 롤 마모의 감소, 판 크라운감소, 스트립의 표면형상이나 프로필개선을 들수있다. 즉 롤마모방지를 통한 롤 원단위절감과 롤 프로 필의 적정화에 의한 스케줄프리압연의 실현으로 생산성을 향상시키는데 있다.

3. 실험조건 및 방법

3.1 실험조건및방법

열간마모시험압연기(4단 20Ton)는 열연공장 유압연방식과 동일한 Water Injection법으로 기름과 물의 혼합액을 보강롤(BACK UP ROLL)출측에 분사하는 방식의 압연기이다. 실험에 사용한 압연 재료는 냉간 압연용 저탄소강(SPCC)으로 두께 1mm, 폭24mm, 길이 500m인 Strip Band 로서

Fig. 1 혼합윤활상태의모델

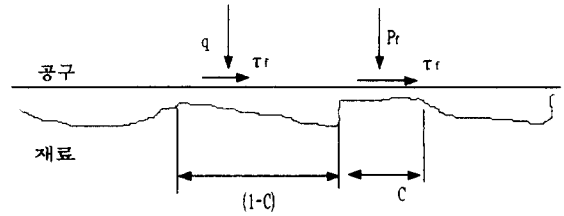


Fig. 2 Emulsion 압연시의 Oil유입기구

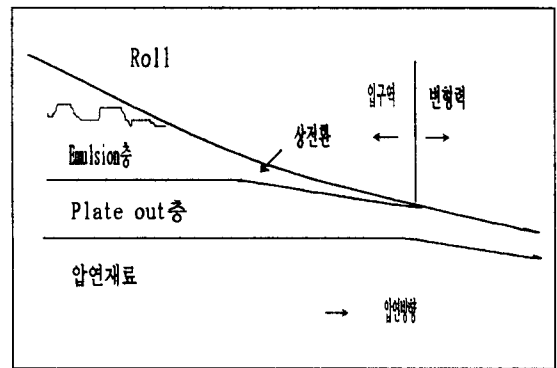


Table 1 Roll화학성분

항목	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	V	W
HSS (1H)	2.0	1.0	0.3	6.3	1.2	1.5	0.014	0.01	4.5	2.2
시험 HSS	2.0	0.8	0.5	5.95	0.07	6.3	-	-	5.98	4.0

코일내경 300 mm로 코일링 한것이다.

롤 재료는 일본 日立金屬 제품 과 국내 부공산업 롤을 사용하여 롤측은 방전가공하였다 Roll갯수는 日立金屬 2 Sets와 부공산업 2 Sets로서 롤 크기는 60φx 50 mm (Barrel부), 전장길이는273 mm이다. HSS Roll화학적분은 Table 1에나타냈다.

실험조건은 현장열연공장에서 압연시 조건을 고려하여 Table 2와 같이 압하율 3단계, 압연유농도 4단계, 가열 온도, 압연속도등을 변화시키면서 실시하였다.

실험방법은 실험조건을 기준으로하여 압하율, 압연유농도 압하율과 압연하중, 압연토크, 롤마모변화, 롤 및 판표면 조도영향을 조사하기위하여 압하율25, 35, 45 %의 3단계와 압연유농도는 무윤활(냉각수만공급), 0.2, 0.4, 0.6%로 변화 시켜서 각 해당 효과를 산출하고 압연속도 400rpm(고정), 가열 온도 900℃, 판온도 700~800℃로 열간압연 하였다. 그리고 롤조도 및압연후 판 조도를 측정하고자 압연길이 100m 마다 5개 시편을 채취하여 산세농도 염산 30%, 산세 시간 90Sec로 하여 완전 산세후 조도 [Roughness]를 측정 하여 비교하였다.

4. 실험결과

Fig. 3에서압연하중변화는 압연유 농도가 0.4% 또는 0.6%에서 임계농도가 되고 동일한 압하율에서 압연유 농도가 증가하면 압연하중이 저하되어 압하율 35~45%에서 압연 하중이 대폭 감소하여 압연 하중 감소율은 12.9~14.1%로 나타났다. 그리고 압연유농도0.6%, 압하율 35~45%일때 압연 하중감소는 변화가없어 압연농도0.4%일때 임계농도가 되고 압하율이 높을수록 압연하중 감소율이 증가됨을 알수있다. Fig. 4에서 압연 토크변화는 압연유 농도가 증가할수록 토크가 저하됨을 알수있다. 압연유농도가 0.4%일때 압하율 35~45%에서 압연토크감소율 9.2 ~ 10.0%으로 압연유 농도가 0.6%일때 압하율 35~45%에서 토크감소의 변화가 없음을 알수있어 압연농도 0.4%가 임계농도가 된다. 일반적으로 압연토크와 압연하중관계는 다음과같이 주어진다. ⁽¹⁰⁾

$$\mu = \frac{T}{P \cdot R} \quad \text{여기서 } T \text{ 는 압연토크, } P \text{ 는 압연하중}$$

R 은 Roll반지름, μ 는 마찰계수

롤마모변화는 Fig. 5에서 압연농도가 0.4 또는0.6%가 임계 농도로서 압연유농도가 증가할수록 Roll 마모가 감소하고 압하율 35~45%에서 Roll마모가 대폭감소한다. 압연농도 0.4%에서 압하율 35~45%에서 롤마모감소 13.9 ~ 19.1%로 나타났다. 압연유농도 0.6%일때 압하율 35~45%에서 롤마모 감소율은 변화가 없어 압연유 농도 0.4%에서 임계 농도가 되고 압하율이 높을수록 Roll마모 감소율이 증가됨을 알수 있다.

Table 2 실험조건

항 목	조 건
압하율	25, 35, 45 %
압연유농도 (%)	0.2, 0.4, 0.6, 무윤활
Roll 제작사	Hitachi, 부공산업
가열온도	900℃ (압연온도 700~800℃)
압연속도	400 rpm
압연윤활방식	Water Injection BUR 방식

Fig. 3 압연하중변화

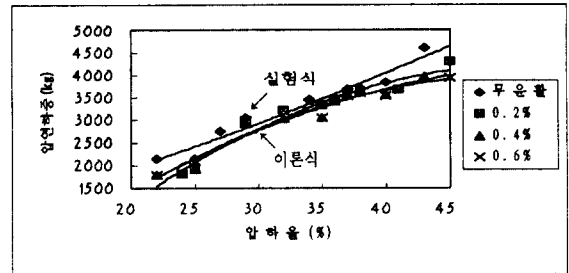


Fig. 4 압연토크변화

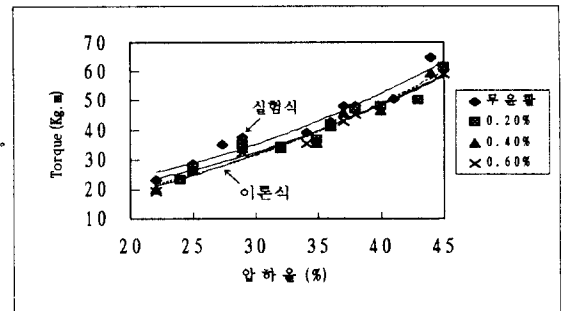


Fig. 5 롤마모변화

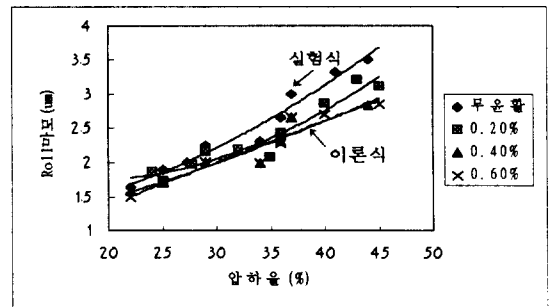


Fig.6에서 롤 표면조도 및 산세전후의 제품의 표면조도를 측정비교하였다. 제품 시편채취는 압연길이 100m마다 5개 Sample을 채취하고 산세조건으로는 판의 완전산세로 산세 농도는 염산 30%로 Scale 제거 후 제품 표면조도 [Ra]를 정밀 측정기를 사용하여 측정하였다.

Fig.7에서 연속압연은 Roll 교체 없이 연속 4 Coil을 유압연 (0.4%)과 무윤활 구분 실시 후 롤 마모 측정 결과이다. 연속 압연 결과는 연속 압연 횟수가 증가하면 롤 마모 절감율이 증가하여 연속 4회 누적 마모량 5.22 → 4.1 μm으로 (21.5%) 절감되고 무윤활시는 Heat Crack이 1~2mm 정도 압연 방향으로 나타나고, 폭 방향으로는 구열(龜裂) 모양으로 제품 결함 (Scale 발생)의 주요 원인으로 나타났다.

5. 결론

HSS Roll 적용시 압연하중이 증가되고 제품 Scale이 발생되는 것을 감소시키고자 유압연을 실시하여 그 사용효과를 파악하고자 현장 조건과 유사한 열간 마모 시험 압연기를 이용하여 냉간 압연용 저탄소강 [1mmx24mmx500m]을 압연 소재를 사용하고 압연 조건에 따른 실험 결과로는 압연하중, 압연 토크, 롤 마모 감소, 롤 및 판 조도 개선 등을 확인하였다. 그리고 압연 유농도 0.6%에서 압하율 35~45%일 때 압연하중 감소, 압연 토크 감소, 롤 마모 감소는 변화가 없음을 알 수 있어 압연 유농도 0.4%일 때 임계 농도로 나타났다. 그리고 압하율이 높을수록 압연하중, 토크, 롤 마모 감소율이 증가됨을 알 수 있고 연속 압연은 연속 압연 횟수가 증가하면 롤 마모 절감율 증가하여 4회 누적 마모 감소율 21.5%로 나타나고 무윤활시는 Heat Crack이 1~2mm 정도 압연 방향으로 그리고 폭 방향으로는 갈라지는 모양으로 나타나 제품 결함 (Scale 발생)의 주요 원인으로 확인되어 HSS Roll에서 유압연 특성 및 효과를 확인하였다.

Fig.6 롤 및 판 조도

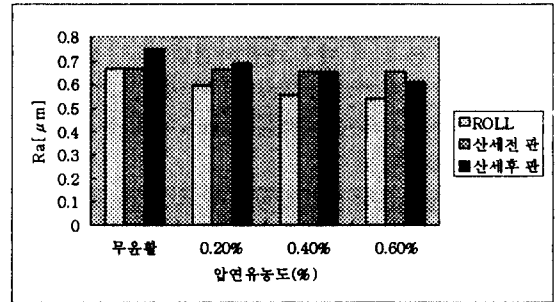
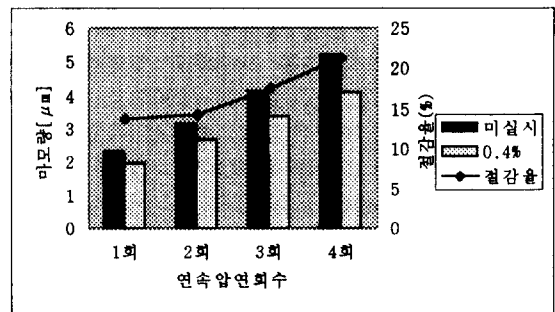


Fig.7 롤 마모 [연속 압연]



6. 참고 문헌

- (1) Schey, J.A., 1984, Tribology in Metal Working: Friction, Lubrication and Wear, ASM, Metals Park, Ohio, PP 249~341.
- (2) Cheng, H.S., 1966, Friction and Lubrication in Metal Processing, 69, ASME.
- (3) Yarita, I., Azushima, A., Ikeda, A., Yamada, H. and Kenmochi, K., 1994, "Tribology in Rolling Process," Memorial Symposium of 100th Rolling Theory Committee, Development and Prospect of Theory and Technology of Steel Rolling, ISIJ.
- (4) Yarita, I. and Ito, K., 1993, "Friction and Lubrication," Theory and Practice of Flat Steel Rolling, ISIJ.
- (5) Process Tribology: Lubrication in Metal Working, 1993, JSTP, Corona Pub., Tokyo.
- (6) Flat Rolling Process, 1993, JSTP, Corona Pub., Tokyo
- (7) Recent Development In Tribology of Metal Working Process, 1993, The Journal of JSTP 34, No. 393, 1993 -10, JSTP.
- (8) 清野, H. Spikes & A. Cameron: 鐵と鋼, (1981), S385
- (9) 神居ら: 塑性と加工, 17(1976)182, P.202
- (10) Schey, J.A., 1984, Tribology in Metal Working: Friction, Lubrication and Wear, ASM, Metals Park, Ohio, PP 257~259.