

일반강, SiliconSteel, StainlessSteel겸용 수용성 냉간압연유의 개발 및 적용

송교봉, 권구준, 김민구
압연연구팀, (주) BIT범우연구소

Development & Application of New Multi-Purpose Rolling Oil

K.B. SONG , G.J. KWOUN , M.K. KIM
Rolling Oil Research Team, Buhmwoo Institute of Technology Research

Abstract

Current steel makers are trying to develop new manufacturing process to secure price competition and to improve productivity by testing a various kinds of rolling condition of several kinds of steel at TCM. Accordingly, Reverse Mill operation for Stainless steel is changing to TCM operation and furthermore, even general carbon steel and electric steel plate are requested to be worked at TCM simultaneously. By these changing of rolling condition, it become to be necessary to develop new water-soluble cold rolling oil that has a characteristics to be suitable for various working condition and in this report, we would like to mention lubrication condition to fulfill requested characteristics of each steels and development and applying result of multi-purpose water-soluble cold rolling oil which has such an lubrication property.

Key words : Stainless steel, Tandem Cold Rolling Mill(TCM), Lubrication, Emulsion

1. 서론

스테인레스강의 냉간압연은 통상적으로 스테인레스강의 특성상 소경 Work Roll의 다단압연기를 이용하고, 또한 윤활제로서 비수용성(Neat Type)압연유를 사용하여 조업이 이루어지나, 이러한 조업방법으로는 상대적으로 저속작업에 의한 생산성의 향상에 어려움이 있다. 근래에는 스테인레스강의 생산성 향상 및 신제조process등에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있으며, 그중에서 연속냉간압연기(Tandem Cold Rolling Mill)을 이용한 고속조업을 통한 생산성 향상 및 원가절감에 초점이 맞추어져있다. 기존의 연속냉간압연기에서 스테인레스강의 고속압연조업을 위해서는 다단압연기에서 사용하는 비수용성압연유type으로의 고압하, 화재위험성의 어려움이 있기에, 스테인레스강의 고속조업에 적합한 냉각성과 윤활과 유화특성을 가진 수용성냉간압연유가 필요하게 되었으며, 종전에 조업하던 일반탄소강과 전기강판재의 조업안정성에 영향을 미치지 않는 모든 강종에 조업특성을 포함할 수 있는 압연유가 필요로 하게 되는 추세이다.

본 연구에서는 스테인레스강의 특성에 맞는 윤활특성과 유화특성을 갖추고, 일반탄소강, 전기강판재에 조업안정성이 우수한 수용성 냉간압연유의 개발과 적용에 대하여 논하고자 한다.

2. 설계 및 시험압연

2.1 스테인레스강 압연을 위한 압연유 요구사항

스테인레스강의 고속압연시 나타나는 결함중의 큰부분이 Heat Scratch이다. Heat Scratch를 방지하기 위하여 수용성냉간압연유를 이용한 스테인레스강 압연의 중요고려사항은 첫 번째, 압연 윤활성, 즉 Heat Scratch방지를 위한 극압-경계윤활성의 확보가 가장 필요한 항목이다. 즉, 고속압연과 스테인레스강 박판작업을 위한 유막강도를 확보해야한다. 이는 수용성압연유의 구성성분중 Base Oil의 점도와 윤활성, 그리고 윤활첨가제와 극압조건에서의 윤활을 위한 극압첨가제의 종류와 함량이 주요 역할을 하게 된다. 두번째는 유막의 두께와 표면품질을 위한 에멀전 입자경 및 분포의 균일도, 유화안정성이다. 이는 압연조업시 강판에 부착되는 유분의 양(Plate-Out성)의 제어와 균일한 입자분포에 의한 유막두께의 고른 퍼짐과 압연조업후의 강판의 표면품질, 광택의 균일도를 좌우한다. 순환사용방식으로 사용하는 압연유의 지속사용에 따른 균일한 유화성 유지에 필요한 항목이다. 이렇게 유막의 두께와 에멀전 입자 및 크기의 선택, 장기순환사용안정성등의 성능을 위해서는 에멀전의 매개체가 되는 유화제(Surfactant)의 함량과 선정이 중요한 요소이다. 세 번째로 연속냉간압연기에서 조업시 표면품질에 영향을 주는 이물 및 Stain등에 대한 제어이다. 압연조업시 이물등의 낙하 및 롤바이트내에 이물이 존재할 경우 표면결함에 직접적인 원인이 되므로 압연기의 청정관리가 필요하며, 또한 압연유 자체의 내oil-Stain성을 확보함으로써 강판에 Stain등의 발생을 제어해야한다. 그러므로 압연기의 청정성 확보를 위한 내오염성과 내oil-Stain성의 확보가 필요하다. 네 번째로 후공정의 영향성이다. 압연조업후 후공정인 탈지라인에서의 탈지성의 확보와 후공정 대기시간동안의 단기방청성능을 보유하여야 한다.

이상은 스테인레스강의 수용성냉간압연유를 이용한 고속압연에 필요한 요구성능등에 대하여 논하였다. 그러나 일반적인 연속냉간압연기의 경우, 스테인레스강 전용의 연속냉간압연기가 아닌 일반강 및 전기강판재가 주요 생산품목인 연속냉간압연기에서 스테인레스강의 압연을 하는것은, 앞서 언급한 윤활성의 부분에 있어 최고의 윤활조건으로 압연유를 설계하는데에는 제약조건이 있다. 그러므로 스테인레스강 압연시의 Heat Scratch제어의 목적이 있지만 다른 강종의 조업안정성(Slip)에 영향을 미칠 경우, 본래의 압연조업안정성을 저하시키는 경우가 발생하기에 최적의 윤활조건을 도출해야하며 유화성 설계시에도 일반강 및 전기강판재에 대한 영향성도 설계에 반영되어야 한다. 또한 사용시의 강종에 따른 압연유 농도의 설정등의 관리방법의 변경도 함께 고려하여야한다.

2.2 시료유 및 Pilot Test.

2.2.1. 시험조건 및 시료유의 성상

표1의 시험압연기와 시험압연조건으로 시료유의 윤활성, 특히 Heat Scratch의 발생여부 및 기타 압연성능에 대한 평가를 한다. 일반강 및 전기강판재의 시험압연은 제외한다. 표2는 시험압연의 압연스케줄이다.

표3은 Pilot Test를 위한 특성별 시료유의 기본적인 성상에 대한 것이며, 표3의 각각의 시료유의 설계사상은 시료유A는 기존의 라인에서 사용중인 압연유로서 스테인레스강판의 박판화 및 생산성 향상을 위하여 압연유의 윤활성의 향상이 필요한 것으로 타시료와 상대 평가를 위한 기본시료이다.

Table 1. Condition of pilot mill and evaluation content

압연조건	압연방식	4Hi Reverse Mill
	압연속도	Max. 200mpm
	압연하중	300 Ton
	압연소재	STS304, STS409L(열연산세소재)
	소재치수(두께×폭)	3mm×15mm
	압연roll	∅ 100, Ra 0.1
Coolant 조건	압연유 농도 (%)	3
	압연유 분사량(ℓ/m)	80
	압연유 온도(℃)	40
	시료유	5종
평가 항목		Roll Force / Heat Scratch발생여부 강관온도 변화

Table 2. Pilot rolling schedule

Pass No./ 소재	STS304	STS409L
	3.0T	3.0T
1	2.175	2.076
2	1.773	1.453
3	1.503	1.017
4	1.442	0.861

Table 3. Rolling Oil For Pilot Test.

항 목 / 시료유	A	B	C	D	E
점도(50℃)	32	40	39	37	110
산가(mgKOH/g)	13	15	8	7	22
비누화가(mgKOH/g)	150	205	200	175	300
입자경 (μm,10000rpm)	8.4	7.5	6.0	6.0	7.5
Base Oil	광유	합성유A,B,C	합성유A,B,C	합성유A,B	합성유C
	유지	유지	유지	유지/광유	
윤활제	고점도 지방산, 저점도합성지방산				
극압제	S : A	S : A,B	S : A,B	S : A,B	S : A
	P : A	P : A,B	P : A,B	P : A,B	P : B,C
특 징	저비누화가 저극압특성	고비누화가 극압제 강화	고비누화가 극압제 감량	중비누화가	고점도 고비누화가
강관부착유분량(mg/m ²)	180	220	210	197	220

시료유B의 경우는 스테인레스강의 조업시 발생하는 Heat Scratch등의 제어를 위한 인계 및 황계극압제의 선택적용 및 윤활의 기본요소인 점도 및 비누화가의 상향조정과 합성유의 신규적용으로 윤활성의 확보를 위한 설계이며, 압연유C는 극압제의 성능비교평가를 위한 시료로서 시료유B의 기본적인 설계에서 극압제의 첨가량을 조정한 시료이다. 시료유D는 비누화가에 의한 윤활요소에 대한 검증과 적정 비누화가의 도출을 위한 압연유이다. 시료유E는 타사에서 스테인레스강의 조업에 적용되었던 압연유로서 상대적인 평가를 위한 압연유이다.

2.2.2 Pilot Test결과

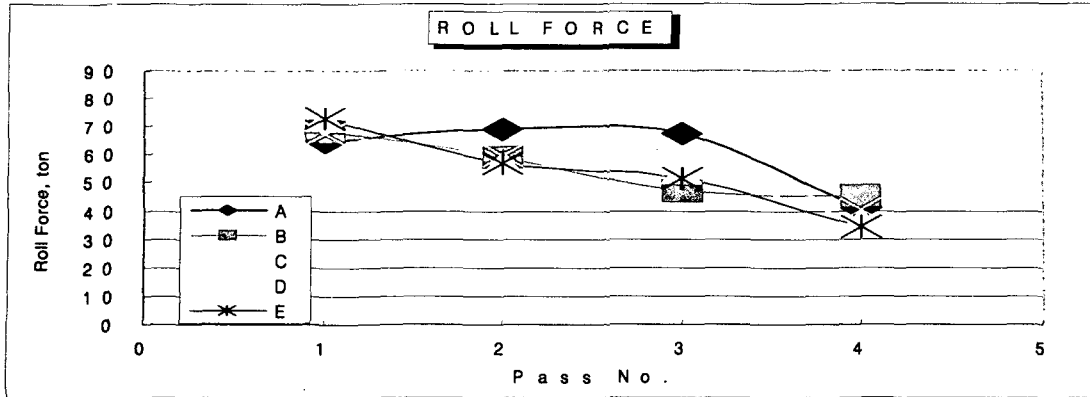


Fig. 1 Change of rolling force by pass schedule

표1의 압연조건과 표2의 압연스케줄에 의한 시험압연결과, 각시료유에 따른 Roll Force의 변화는 시료유 A를 제외한 모든 시료에서 Roll Force저하효과를 발휘하였다.

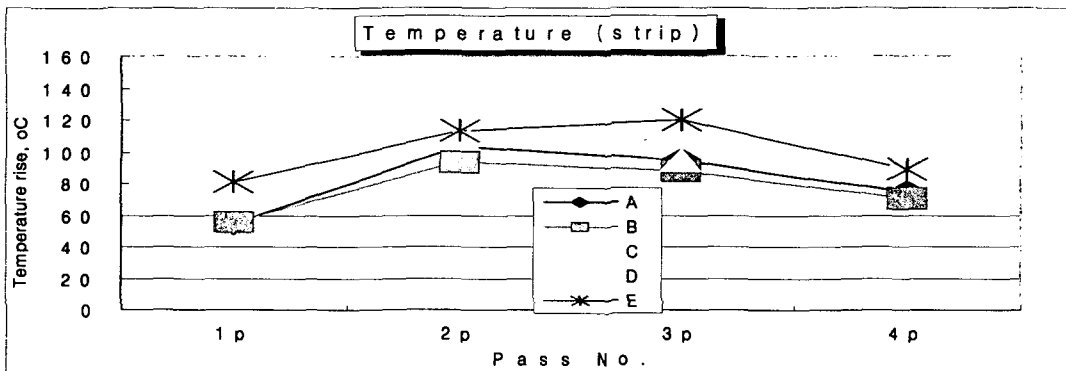


Fig. 2 Change of strip temperature by pass schedule

강판온도의 변화는 시료유B가 낮은 경향을 나타내며, Roll의 온도변화 또한 낮은 경향을 나타낸다.

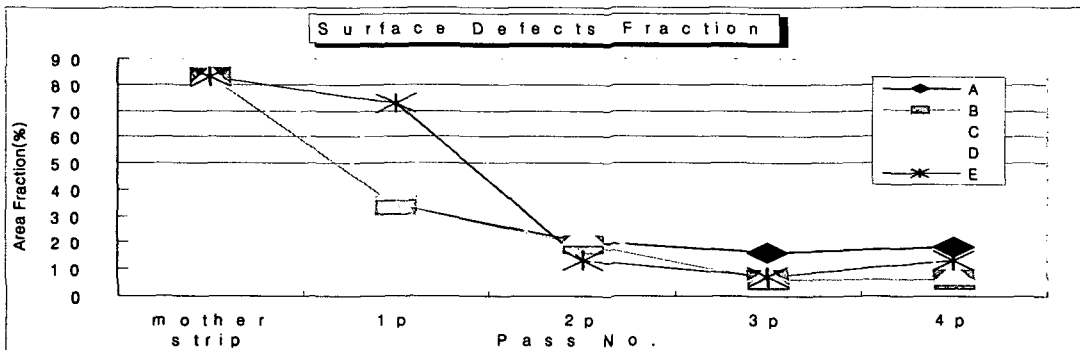


Fig. 3 Surface defects fraction by pass schedule

Table 4. Surface defects(Heat Scratch) occurrence by pass schedule

Pass No. / 시료유	A	B	C	D	E
1	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○
4	x	○	x	x	x

스테인레스강의 압연시 가장 중요한 항목인 압연윤활성, 즉 Heat Scratch의 발생 경향은 시료유B의 경우만 4Pass압연시 Heat Scratch의 발생이 없다.

Pilot압연시험결과, 각각의 시료에 대한 Roll Force감소효과는 기존사용중인 시료유 A 대비하여 모두 Roll Force가 감소하나 시료유별로 극압제, 비누화가등의 차이에 의한 Roll Force감소 경향은 미비하게 나타났다. 그러나 강판온도 및 Heat Scratch발생 경향과 함께 종합적으로 판단할때 시료유 B가 극압제 및 비누화가의 상향조정에 의한 극압윤활향상효과가 가장 우수한 것으로 판단된다. 즉 기본적인 윤활요소인 비누화가의 상향조정과 극압영역에서의 윤활제인 극압제의 최적 첨가가 압연윤활성을 향상시킴으로서 마찰열에 의한 강판온도의 상승을 제어하고 극압윤활영역인 4Pass시의 표면품질 결함요인인 Heat Scratch의 발생을 억제하는 것으로 나타난다.

이와 같이 Pilot 시험결과, 스테인레스강 조업의 박판화 및 생산성 향상을 위해서는 윤활성 향상을 위한 비누화가의 상향조정, 특성별 합성유의 적용 및 극압제의 최적배합을 통한극압윤활성의 향상이 필요하다.

3. 현장시험결과

3.1 조업요구사항

실라인의 조업요구 사항은 표5와 같다.

Table 5. Demand of on-line

항목	요구항목	요구성능	압연유관련사항
압연윤활성	내heat Scratch성 향상 STS409박판화 및 압연속도상향	Plate-Out성 향상 극압윤활성 향상	극압성능향상 비누화가 상향
압연작업성	일반강, 전기강판재 조업안정	유화균일유지성능	
내오염성	이물mark방지 / Mill청정성	유동성 확보, 세정유화성능	합성유 적용 고분자분산제적용
후공정영향성	탈지성, 방청성	내열산화안정성	합성유 적용

STS409L 박판조업시의 Heat Scratch의 발생방지와 Speed Up이 가장 중요한 사항이며 Test 결과는 STS409L 조업기준으로 논하고자 한다.

3.2 라인test결과

3.2.1 강판부착량비교

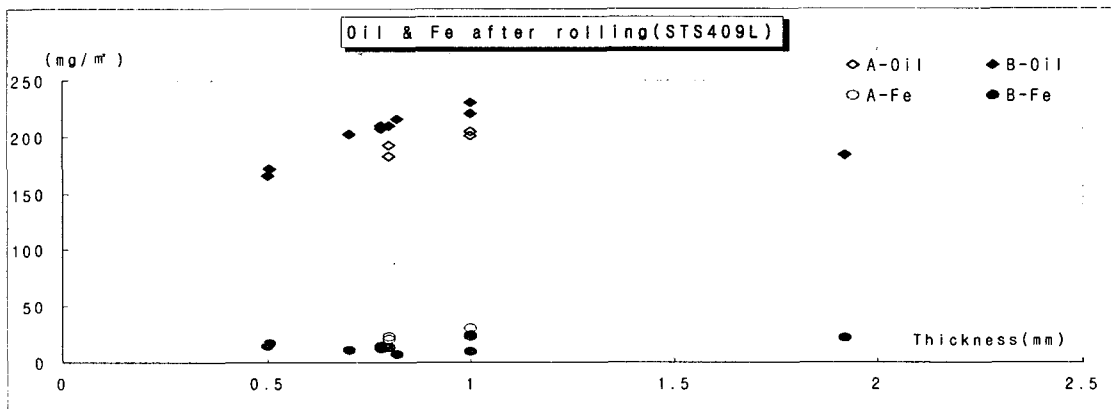


Fig. 4 Comparison of adhesion oil and Fe after rolling(STS409L)

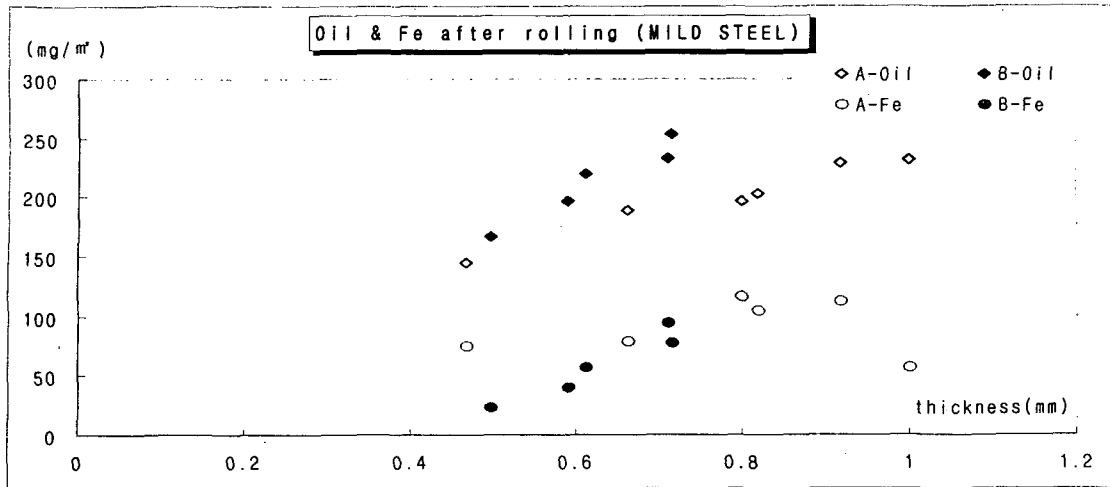


Fig. 5 Comparison of adhesion oil and Fe after rolling(Mild Steel)

3.2.2. 강판온도비교

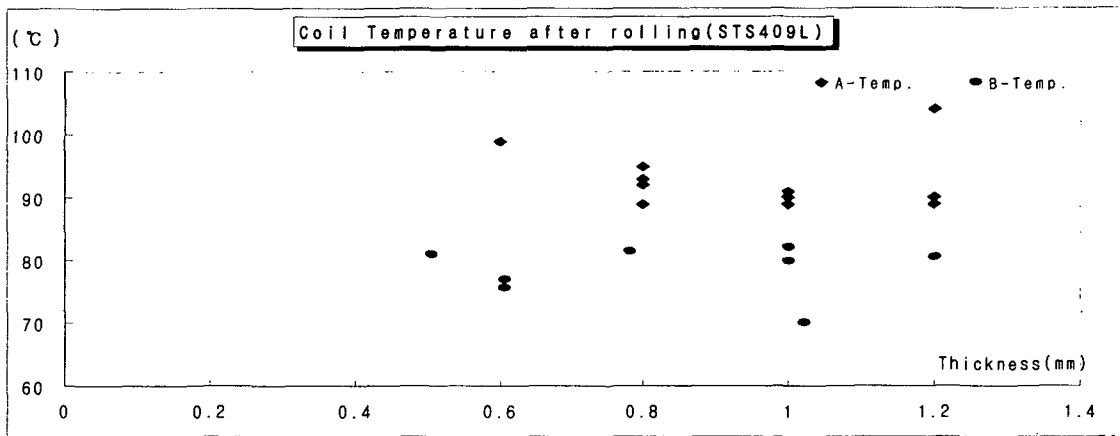


Fig. 6 Comparison of coil temperature after rolling

현장 조업시의 윤활성 향상의 지표인 강판부착유분, 철분량과 압연후 코일의 강판온도 비교 결과는 그림4와 6에서 보듯이 개발된 제품의 압연윤활성이 기존에 사용중인 압연유 보다 윤활성의 향상에 의하여 강판부착량, 즉 Plate-Out량의 증대(0.8T기준 13%증대)의 경향으로 강판부착마모 철분의 감소와 압연 후의 강판온도의 저하효과를 발휘하였다.

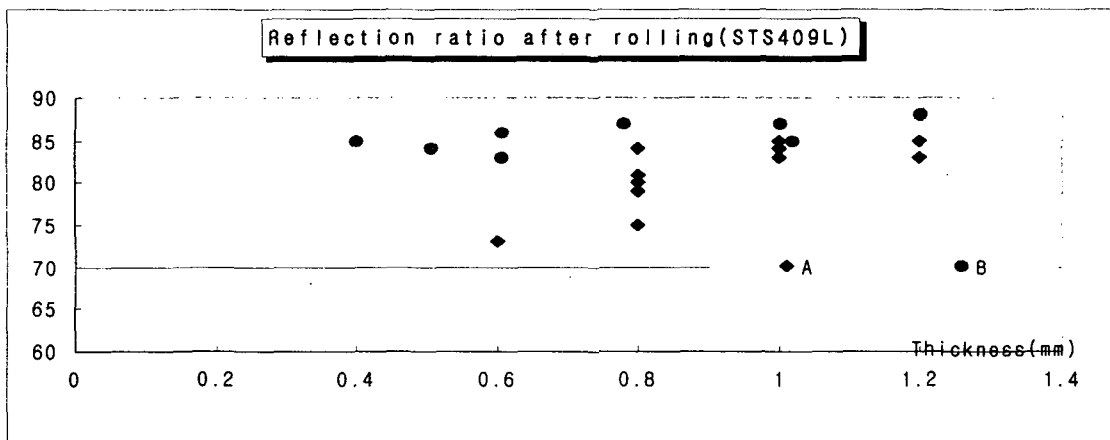


Fig. 7 Comparison of reflection ratio after rolling

또한 윤활성 향상에 의한 강판부착마모철분량의 감소에 의한 압연후의 표면광택성이 그림7에서 보는 것과 같이 향상됨을 알수있다. 이러한 경향은 즉, 강판부착량의 증대에 의한 유막두께의 확보와 극압윤활첨가제의 최적 배합을 통한 유막강도의 확보를 통하여 실라인조업시 스테인레스강의 박판조업시에 Heat Scratch발생 저감의 효과가 나타났으며, 유화제의 선택 적용과 유화편차의 최소화를 통하여 표면품질의 향상이 있었다. 이외에 일반강 및 전기강판재의 경우도 압연후 유분 부착량의 증대와 철분부착량의 감소효과가 있었다.

그림 5와 같이 일반강과 전기강판재의 강판유분부착량은 각각 7.5%와 6.0%의 상승효과 있었다.

3.2.3 기타 성능

일반재와 전기강판재의 조업안정과 Coolant관리의 용이성을 위한 유화균일유지성능은 각Tank별 유화편차 감소효과 및 표면품질의 향상효과가 있었다. 또한 이물mark의 방지를 위한 내오염성은 기존의 압연유 대비 Mill청정성이 향상되어 환경적인 측면에서의 효과를 가짐을 알 수 있고, 후공정의 탈지성 및 방청성은 기존사용유와 동등이상의 수준의 결과를 얻었다. 그리고 일반강 및 전기강판재의 조업시 나타날 수 있는 과윤활의 문제는 압연유 설계시의 최적 유화성의 설계와 사용시 스테인레스강과 일반강, 전기강판재 각각의 적정농도, 즉 일반강 및 전기강판재의 압연농도를 낮추어 조업하고, 스테인레스강과 일반강조업시의 농도편차를 $\pm 0.5\%$ 이내의 관리를 통한 Coolant안정화 시간을 단축하여 윤활변동의 요인을 최소화 할수 있었다.

4. 결론

본 연구 및 시험결과에서는 연속냉간압연기에서의 스테인레스강의 박판조업 및 생산성향상을 위하여 압연유가 가져야할 기본적인 성능조건 및 일반강과 전기강판재의 혼용 생산을 위한 압연유 성능에 대하여 연구 시험 및 현장시험을 행하였다

현장시험결과, 최적 윤활조건 선택이 스테인레스강과 타강종의 겸용 생산시 가장 중요한 요소임을 알수 있으며, 각각의 강종별 요구성능에 대한 정확한 파악을 통한 압연유 각각의 성분으로의 접근과 검토가 필요함을 알 수 있다.

본 연구의 결론은 스테인레스강 및 타강종의 원활한 혼용생산을 위한 압연유적인 성능은

- 1) 유막두께(Plate-Out성)와 유막강도의 확보: Heat Scratch제어 목적
- 2) 표면품질확보를 위한 균일유화성 및 Coolant관리의 용이성 : 균일표면광택성
- 3) 표면결함의 방지를 위한 내오염성능 : 이물mark등의 제어
- 4) 후공정의 영향성 최소화를 위한 탈지성능 및 방청성의 확보가 중요하다
- 5) 강종별 윤활조건 도출 : 스테인레스강, 일반강, 전기강판재 겸용 생산

이러한 성능의 확보를 위해서는 Base Oil의 고급화(합성유의 사용), 압연유의 점도 및 비누화가 설정이 중요하며, 유막강도 강화를 위한 극압윤활제의 선택(황계인계극압제의 선택 적용), 유막두께의 확보를 위한 적정유화시스템의 구성이 중요하다. 또한 요구 윤활조건이 상이한 강종의 동시 조업을 위한 Coolant의 운용방법의 도출이 중요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Kokura, Plasticity & Processing, 28-314, pp 272 (1987)
2. Yasutomo, Plasticity & Processing, 28-316, pp 488 (1987)
3. E.D KI, Rolling symposium, pp 716-723 (2001)
4. Eiji Maruyama, Rolling symposium, pp785-788 (2001)