

냉간압연용 장수명 중간롤 개발

박영철, 김병훈, 김일봉, 김정태*
김현문, 이우동**
소재개발연구팀, 기술연구원, 두산중공업*
주단생산기술팀, 주단 BG, 두산중공업**

Development of intermediate roll which has a long life for cold rolling mills

Y. C. Park, B. H. Kim, I. B. Kim, J. T. Kim*
H. M. KIM, W. D. Lee**
R&D Center*, Casting & Forging BG**
Doosan Heavy Industry & Construction Co., LTD.

Abstract

There are various characteristics called for in work roll and intermediate rolls for cold rolling mills. Among these characteristics, the two main requirements are to ensure the quality of the rolled products and to reduce roll cost. To achieve these needs, resistance to wear, to thermal shock and to contact fatigue are especially important. This paper describes that new material(named DSR1) for intermediate rolls which greatly increases rolling campaign and improves resistance to wear has been developed. DSR1 was successfully manufactured and has been used in the cold rolling mill. It showed that Trial product was homogenous in hardness distribution and sufficient usable diameter. Also in service test, trial product is much more excellent rolling performance than conventional 5%Cr

Key words : DSR1, intermediate roll, contact fatigue, thermal shock, wear

1. 서론

최근 냉간압연기가 고속, 고압화되고, 냉연판재의 고품질화가 요구됨에 따라 사용되는 롤의 품질특성 또한 점점 엄격해지고 있다. 압연업체는 롤의 수명향상과 Cost down을 위해 내마모성, 내열충격성 그리고 우수한 접촉피로 특성을 가지는 롤을 요구하고 있다.

냉간 압연용 롤은 내마모성, 내사고성, 고경화심도가 요구됨에 따라 재질적으로 Cr 함량의 증대가 주가 되었지만, 최근에 들어서는 Cr이외의 새로운 Mo, V, W등의 경질탄화물 형성원소를 첨가하여 우수한 내사고성과 내마모 특성을 가지는 롤을 개발하고 있다.(1) 그러나 이러한 경질탄화물 형성원소의 첨가에 따라 다소 연마 특성이 나빠지는 경향을 가지고 있다. 일반적으로 중간롤은 워크롤의 화학성분을 기본으로 열처리조건을 변경하여 제조하여왔으나 최근에는 중간롤의 특성을 고려한 적절한 합금 설계에 의해 장수명 및 내마모 특성을 동시에 만족시키는 중간롤을 개발하고 있다.

본 보고에서는 경질탄화물 형성원소 첨가에 따른 연마특성의 변화를 주지 않는 범위에서 합금 설계를 통하여 장수명 및 내마모 특성이 우수한 중간롤 개발 및 시제품 특성 평가 결과에 대해서 보고한다. 또한 현재 개발된 장수명 중간롤(DSR1)은 POSCO 광양제철소 2냉연공장에 2002년 10월, 2분 납품되어 수명 향상 및 양호한 압연 특성을 보이고 있기 때문에 In-service Test 결과 대해서 보고 한다.

2. 합금설계

일반적으로 중간롤은 기존 5%Cr 워크롤 재질에서 템퍼링온도를 조정하여 생산되어왔다. 그러나 최근 롤 제조업체는 중간롤의 요구 특성을 고려한 롤 재질을 개발하고있다. 개발 방향은 Cr 이외의 경질탄화물 형성원소인 Mo, V, W을 첨가하여 마모 특성 및 열충격 특성을 향상시키고, Cr, Ni, Mo, Si등을 조정하여 접촉피로 특성을 향상시키는 방향으로 연구개발이 되어오고 있다.(2) 당사에서는 기존 5%Cr 중간롤의 연마특성을 유지하는 범위에서 경질탄화물 형성원소를 첨가하고, C, Mn, Mo를 변화시켜 우수한 내마모 특성 및 장수명의 새로운 중간롤(이하 DSR1)을 개발하였다. Table 1 은 DSR1의 화학조성을 나타낸 것이다.

Table 1 Chemical composition of DSR1

Symbol	(wt%)					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Conventional 5%Cr	0.9	0.3	0.3	5	0.5	
DSR1	0.7	0.3	0.8	5	0.8	0.3

3. 시제품 제조

30ton 전기로에서 제강 후, $\phi 800$ mm ESR ingot를 제작하였다. 이후 4200ton에서 단조 후, 예비열처리, Induction Hardening, 심냉 처리, 템퍼링 처리하여 시제품을 제작하였다. 시제품의 가소재를 채취하여 각 특성시험을 행하였다.

4. 시제품 평가

POSCO 광양제철소 2 냉연공장 중간롤(Barrel diameter: $\phi 560$ mm)용 시제품을 제작하여 평가를 실시하였다.

4.1 미세조직

Photo 1은 시제품 Barrel 표면의 미세조직 사진으로 Martensite 기지에 구상화된 Carbide가 균일하게 분포되어 있다. 또한 $10\mu\text{m}$ 정도의 미세한 결정입이 균일하게 분포되어 있다.

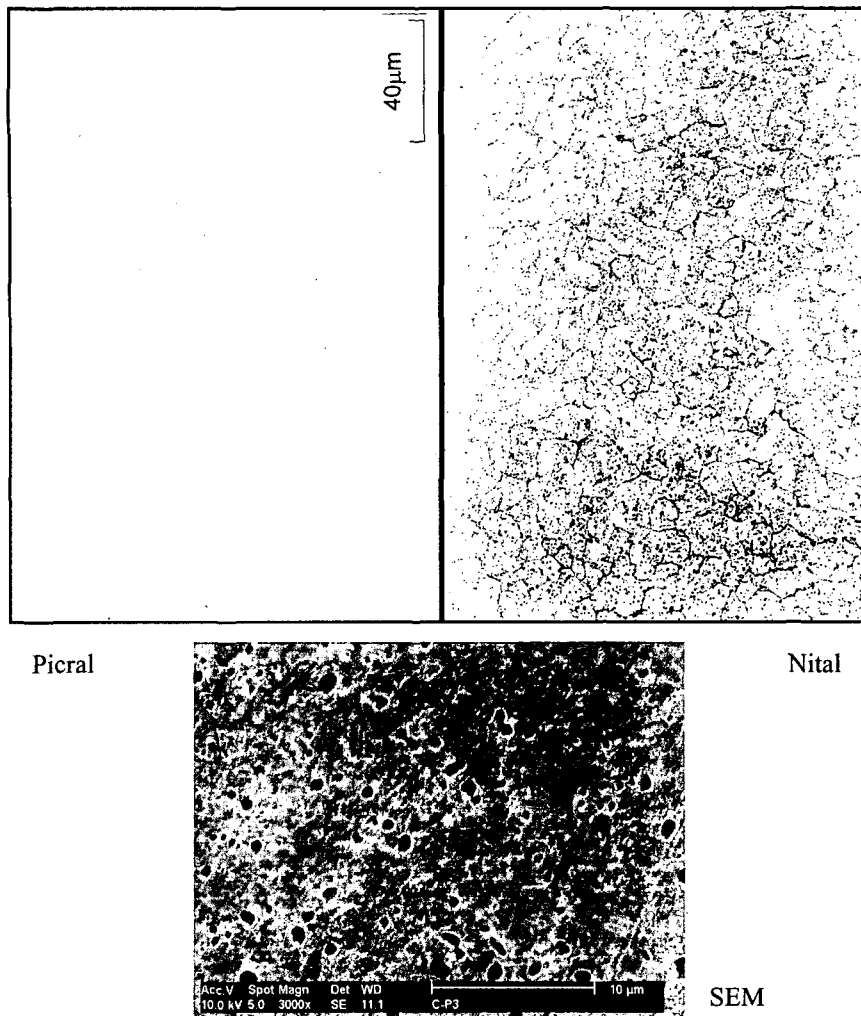


Photo 1 Microstructure on the barrel surface of trial product

4.2 경도 분포 및 유효경

DSR1의 유효경을 예측하기 위해 $\phi 8\text{mm} \times 12\text{mm}$ 의 시험편으로 HDS(Hot Deformation Simulator, Thermomaster Z, 일본)을 이용하여 각각의 냉각속도로 냉각한 후, -100°C 에서 1hr동안 심냉처리(Subzero treatment)하여 경도를 측정하였다. Fig.1은 DSR1의 냉각속도와 경도와의 관계를 나타낸 것으로 DSR1은 Conventional 5%Cr에 비해 좌측으로 이동해있다. 따라서 DSR1은 기존 5%Cr보다 경화능이 우수하기 때문에 유효경 $\phi 60\text{mm}$ 를 충분히 만족시킬 것으로 생각되어진다.

Fig.2은 시제품의 유효경 시험을 위해 Barrel Edge부에 가소재를 붙여 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 방향에서 연마와 함께 경도 측정한 결과이다. $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 에서 경도 편차는 $\Delta\text{HS} 1$ 이내로 균일한 경도 분포를 나타내었으며, $\phi 60\text{mm}$ 에서 HS 84.5로 초기경도 대비 약 $\Delta\text{HS} 1.5$ 정도 감소하는 깊이별 경도 감소가 매우 작았다. 이것은 깊이별 안정한 압연 특성을 유지할 수 있으며 폐기경 근처에서도 우수한 내마모 특성을 유지할 수 있을 것으로 생각되어진다.

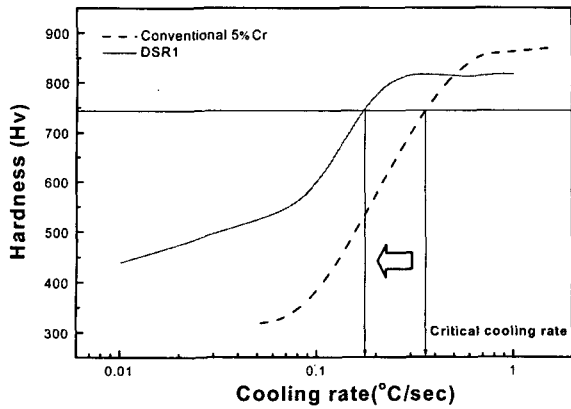


Fig. 1 The relationship between cooling rate and Hardness after subzero treatment at -100°C for 1hr

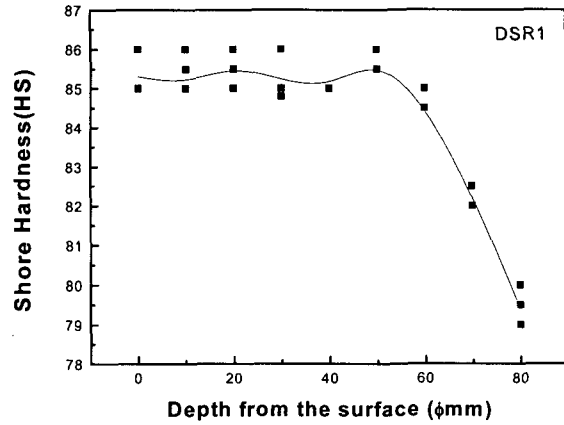


Fig. 2 Hardness distribution at each depth

4.3 접촉피로 특성

Fig.3은 당사에서 보유한 접촉피로 시험기의 개략도를 나타낸 것이다. 하중방식은 유압식이고, 회전속도는 500 rpm, 압연유를 일정하게 분사하여 시험하였다. 접촉피로 수명은 시험편상에 미세 Spalling이 생기는 지점으로 가속도 센서의 감도를 조정하여 시험하였다. Fig.4은 기존 5%Cr 및 DSR1의 접촉피로 수명을 시험한 결과이다. 이때 시험편의 경도는 POSCO 광양제철소 2냉연공장의 중간롤의 경도를 목표로 하여 약 HRC 60에서 시험하였다. Fig.4에서 보는 바와 같이 Hertzian stress에 따른 접촉피로 수명은 기존 5%Cr 중간롤에 비해 DSR1이 2배 이상의 피로 수명을 나타내었다.

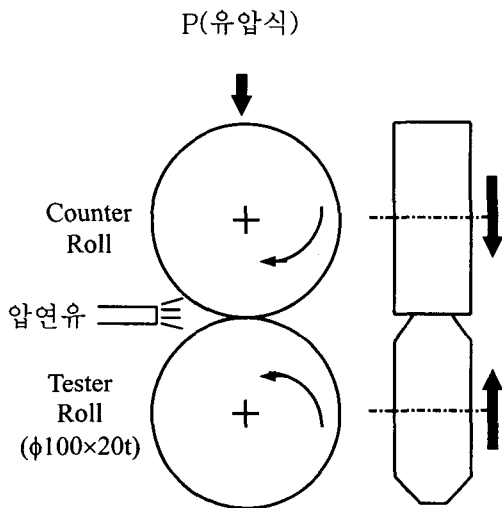


Fig.3 The schematic diagram of contact fatigue tester

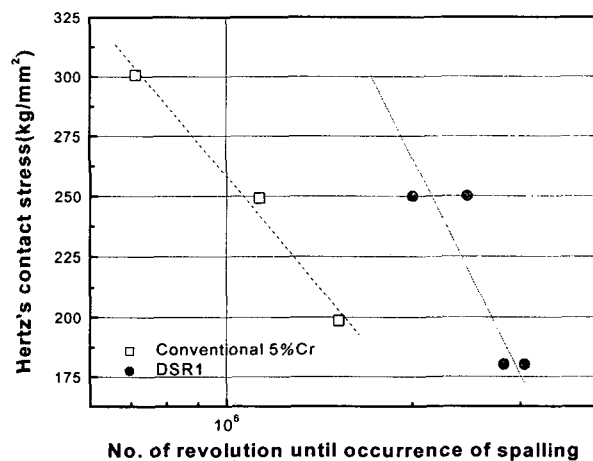


Fig.4 Contact Fatigue life of DSR1

4.4 마모 특성

Fig.5은 당사에서 보유한 마모 시험기의 개략도를 나타낸 것이다. 회전속도는 230 rpm으로 하고 시험중에 냉각수를 일정하게 분사하여 시험하였다. 마모량은 500,000 cycles 회전 후 무게감량을 기준으로 하였다.

Fig.6은 500,000 cycles 회전후의 시험결과로 기존 5%Cr에 비해 DSR1은 무게 감량이 적은 우수한 내마모 특성을 나타내고 있다.

Fig.7은 DSR1의 경도에 따른 마모시험 결과로 HRC 56이상에서 마모량의 변화는 거의 없는 것을 알 수 있으며, 이는 중간롤의 사용 정도 범위에서 양호한 내마모 특성을 유지하는 것을 나타낸다.

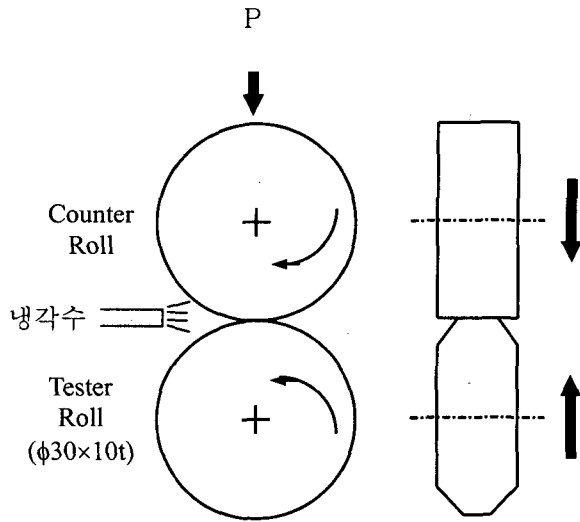


Fig.5 The schematic diagram of wear

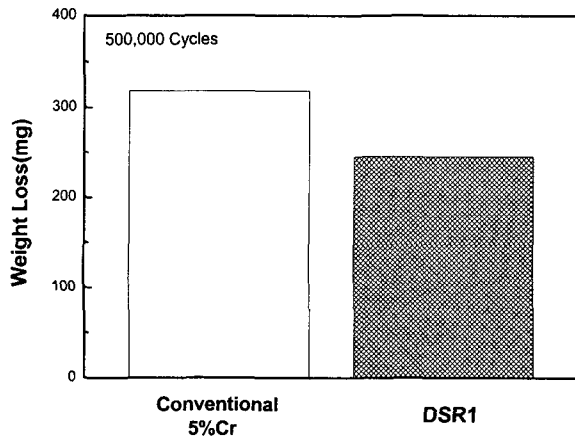


Fig.6 Result of wear test between conventional 5%Cr and DSR1

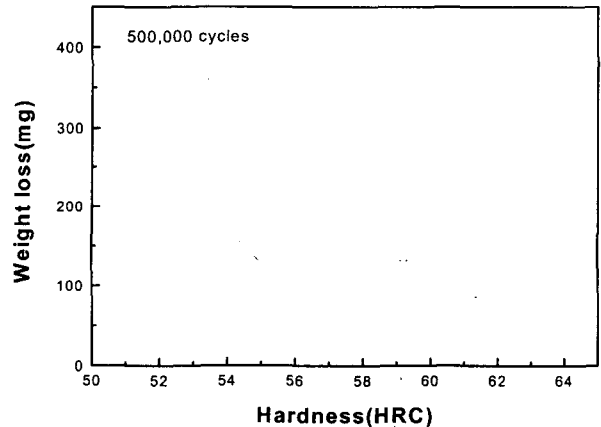


Fig.7 The relationship between hardness and weight loss

4.5 열충격 특성

Fig.8은 당사에서 보유한 열충격 시험기의 개략도를 나타낸 것이다. Disk를 회전시켜 시험편과의 마찰에 의해 시험편을 가열 시킨 후 시험편을 Disk로부터 분리시키고, 일정한 시간 동안 냉각수를 분사하여 가열된 시험편을 급냉시킴으로써 열충격 균열을 발생시킨다. 이때 발생한 균열의

시험편 표면에서부터 최대 거리를 측정하여 열충격 특성을 평가하였다.

Fig.9은 DSR1 및 기존 5%Cr의 열충격 특성을 시험한 결과로 DSR1이 기존 5%Cr 중간롤에 비해 최대 균열이 얇은 우수한 내열충격성을 나타내었다. 또한 경도가 높아짐에 따라 최대 균열 깊이는 깊어지는 경향을 나타내고 있다.

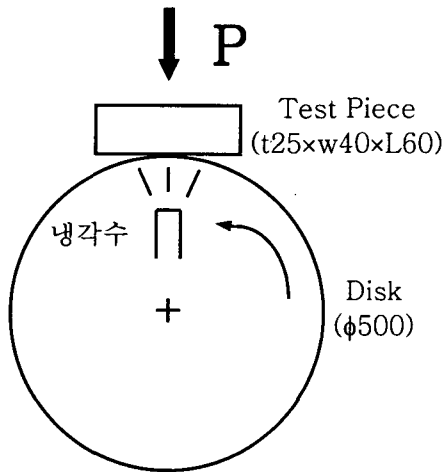


Fig.8 The schematic diagram of wear test

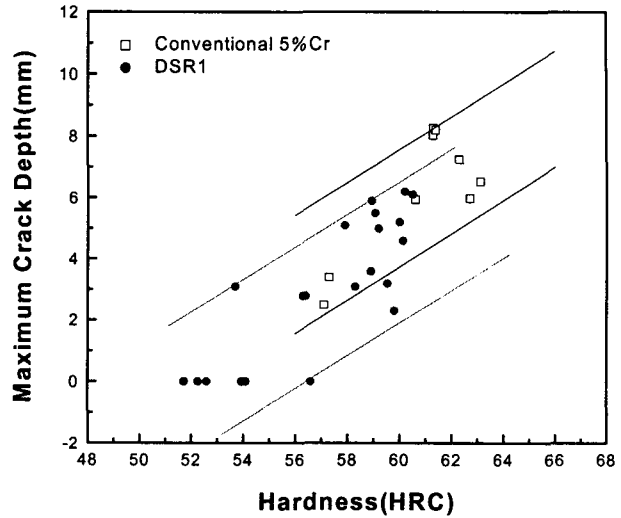


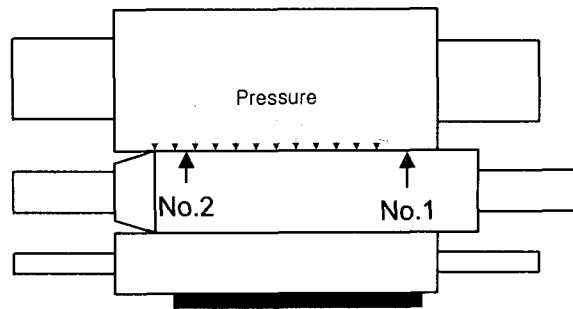
Fig.9 The relationship between hardness

5. In-service 평가

개발된 DSR1은 POSCO 광양제철소 2냉연공장에 시제품으로 투입되어 양호한 압연 실적을 나타내고 있는바 In service 평가를 실시하였다. 시제품은 2003.4월에 최초 투입되어 현재까지 26회 사용 실적을 가지고 있다.

Photo 2는 DSR1 및 기존 5%Cr 중간롤의 압연 후, Replica로 표면 양상을 관찰한 것이다. 이때 회전수는 압연길이와 롤 지름으로 계산하였다. 기존 5%Cr 중간롤은 4 STD에서 300,600 cycles 압연 후의 표면 양상으로 접촉응력이 적게 받는 No.1 위치에서는 양호한 표면 양상을 보이고 있으나 접촉응력을 많이 받는 No.2 위치에서는 미세 균열을 가진 피로 양상이 관찰되어진다. 그러나 DSR1은 2,170,900 cycles 및 3,703,200 cycles에서도 부분적인 마모현상만 관찰되어지고 피로 균열은 관찰되지 않는 우수한 접촉피로 특성을 나타내고 있다.

Fig.10은 DSR1, 기존 5%Cr 그리고 F사의 압연실적을 비교한 것으로 기존 5%Cr 중간롤에 비해 우수한 압연 실적(ton/mm)를 나타내고 있다. 또한 F사 중간롤에 비해서도 양호한 압연실적을 나타내었다.



Position	No.1(contact stress : low)			No.2(contact stress : high)		
Conventional 5%Cr						
	Stand	4	Cycles	300,600	Rolling tons	4,559 ton
DSR1						
	Stand	3	Cycles	2,170,900	Rolling tons	27,268 ton
	Stand	3	Cycles	3,703,200	Rolling tons	52,284 ton

Photo 2 Surface appearance of DSR1 and conventional 5%Cr after rolling

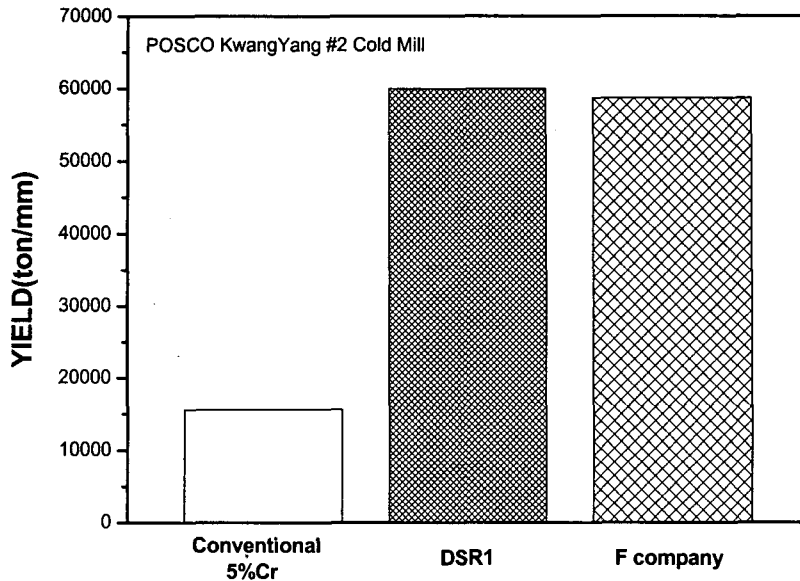


Fig.10 The rolling performance of DSR1

6. 고찰

새로 개발된 DSR1은 Fig.2에서 보는 바와 같이 유효경내에서 경도 감소가 거의 없다. 이는 Fig.1의 결과에서처럼 DSR1은 기존 5%Cr 중간롤에 비해 경화능이 우수하기 때문이며, 이는 경화능 향상 원소인 Mn, Mo의 첨가 효과인 것으로 생각되어 진다. 유효경내의 균일한 경도 분포는 안정적인 압연특성에 효과적이다. 또한 Fig.7의 경도에 따른 마모 시험 결과 HRC 56이상 경도 범위에서 내마모 특성의 변화가 없는 것은 다양한 중간롤의 요구경도에서 안정적인 압연특성을 유지할 것으로 생각되어진다.

Photo 2에서 기존 5%Cr 중간롤의 경우 3STD보다 상대적으로 압연하중이 적은 4STD에서 300,600 cycles 사용후에 미세한 피로균열이 발생하였으나 DSR1의 경우 3STD에서 3,703,200 cycles 사용후에도 피로 균열은 발생하지 않은 우수한 접촉피로 특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 결과는 더 많은 압연 실적 데이터와 연마량 결정이 필요하다. 롤은 압연후 표면에 발생한 피로층을 연삭하여 사용하지만 연삭 후에도 어느 정도 피로층이 잔류하고 있고 이러한 피로층은 압연 투입횟수가 증가함에 따라 증가하고 누적된 피로에 의해 표면 및 표면 직하에서 피로 균열이 발생할 가능성이 높기 때문이다.

Fig.10에서 기존 5%Cr 중간롤은 1~4 STD에서의 사용 실적이고 DSR1은 1~3 STD에서 사용 실적이기 때문에 DSR1의 압연실적이 다소 과대평가되어 있다고 생각되어지나 기존 5%Cr 중간롤보다

DSR1의 압연실적이 우수하다고 생각된다.

7. 결론

- 1) 균일한 경도분포와 $\phi 60\text{mm}$ 유효경을 가지는 장수명 중간롤(DSR1)을 개발하였다.
- 2) 시제품의 미세조직은 Martensite 기지내에 구상화된 Carbide가 균일하게 분포된 조직이었다. 그리고 유효경내에서 깊이별 경도 감소가 약 $\Delta\text{HS } 1.5$ 정도로 매우 작고, HRC 56 (HS 75)이상에서 내마모 특성이 우수하기 때문에 다양한 중간롤 요구경도에서 안정적인 압연특성 및 폐기경에서 우수한 내마모특성을 나타낸다.
- 3) In service 특성 평가 결과, 새로 개발된 DSR1은 기존 5%Cr 중간롤에 비해 우수한 압연실적 (ton/mm)을 나타내고 있었다. 또한 기존 5%Cr 중간롤이 압연(300,600 cycles)후 미세한 피로 균열 발생한 것과는 다르게 3,703,200 cycles에서도 부분적인 마모현상만 관찰되어지고 피로 균열은 관찰되지 않는 우수한 접촉피로 특성을 나타내었다.

참고문헌

1. Tatsumi Kimura, CAMP-ISIJ, Vol.2 pp804(1989)
2. Isao Takeuchi, SEASIS Conference, Seoul, Korea, pp1-10(1997)