

Stainless 생산을 위한 냉연 합리화

이동호, 기을도, 조성봉, 이균백, 김동호
냉연부, 포항제철소 POSCO

A Revamping of Pickling and Tandem Cold Rolling Mill for Producing Stainless Steel

D.H.Lee, E.D.Ki, S.B.Cho, K.B.Lee, D.H.Kim
Cold Rolling Department, Pohang Works, POSCO

Abstract

No.2 PCM (Pickling and tandem cold rolling mill) at Pohang works was revamped in 2003. The purpose of this project is to produce carbon and stainless steel using conventional carbon production process, rolling and annealing. This paper introduces the applied facilities and technologies of PCM which are used in production of carbon and stainless steel. To realize the main purpose of this project, POSCO have developed laser weld technology in normal carbon and special steel (stainless, high carbon and high silicon). And this report describes the method which is developed to get down the surface defect of stainless 400 series. After revamping, No.2 PCM can have competitive power in this field and can supply the special steel using carbon rolling process.

Key words : PCM(Pickling and Tandem Cold Rolling Mill), Pay Off Reel, Tension Reel, Laser Welder, Coolant System, Push-up System, Work Roll Shift, Edge Drop Control, Roll Grinder

1. 서론

일반강의 냉간압연 공정의 특징으로는 비교적 큰 경의 Work Roll을 갖춘 Tandem Mill에 의하여 고속 압연이 행해지고 있다. 또한, 최근에는 산세공정과의 연속화 기술이 일반화됨에 따라서, 큰 폭의 생산능률 향상을 도모해 왔다. 한편, 소경 Reverse Mill을 이용한 저속압연에 의해 제조되고 있었던 특수 강종에 대해서도 Tandem Mill을 이용한 제조기술 개발이 이루어지고 있다. 더욱이, 스테인리스 강판으로 대표되는 특수강에 대해서도 Tandem Mill의 이용이 상용화되고 있다. 통상, 스테인리스 강판의 냉간 압연에는 소경의 Work Roll을 이용하여 Cluster Type의 압연기가 이용되고, 구동 Roll의 Slip을 방지할 목적으로, 비교적 마찰계수가 높은 저점도 Neat Oil이 압연유로 이용되고 있다. 이러한 압연조건은 Roll Bite에 도입되는 유량을 제어하는 효과가 높고, 높은 표면 광택도를 얻기 쉬운 장점이 있다. 다만, Neat Oil의 압연유이기 때문에 인화성이 높고,

저속도 압연의 단점이 있다. 그러나, 대경의 Work Roll을 이용한 고속압연에 의하여 고생산성을 실현한 Tandem Mill에서는 양호한 윤활성이 있는 Emulsion을 사용하여, 우수한 냉각성을 확보하고, Heat Scratch 발생을 방지하고 있다. 이와 같은 대경 Roll에 의한 고속압연은 고생산성 확보는 가능하나, 표면 광택도는 소경 Mill에 비하여 불리한 조건이다.

포항 2냉연공장은 1987년 준공하여 현재까지 운용중인 PCM(Pickling and Tandem Cold Rolling Mill)을 개조하여 “냉연 Process를 이용한 스테인리스 제조 Process 개발”을 실시하였다. 이번 합리화는 증대가 예상되는 스테인리스 400계의 수요에 대응하고, 국내 일반냉연 CR 제품의 공급 과잉에 대비하기 위하여 합리화를 실시하였다. 본 논문에서는 합리화 설비에 도입된 설비개조 내용, 관련기술 및 냉연 Process를 이용한 스테인리스 제조기술에 대하여 소개하고자 한다.

Table 1 Composition ratio of cold rolled product(C.R.P) in stainless suppliers

구분	Arcelor	TKS	Aceronox	NSC	JFE	POSCO
Crude Steel (10kTon/Year)	280	280	250	110	70	200
Ratio of C.R.P.(%)	88	85	71	42	61	14

2. 합리화 사업 내용

2.1 공사개요

2냉연 합리화 공사는 기존 공장을 가동하면서 실시한 사전공사와 Line을 정지하여 실시한 본 공사로 구분된다. 합리화 공사는 2002년 9월 25일에 착공하여 2003년 4월 21일에 준공하여 총 7개월이 소요되었다.

(1) 사전공사 : 2002. 9. 25 ~ 2003. 2.18 (5개월)

사전공사는 본 공사의 Bottle Neck로 예상되는 Laser welder 설치를 위한 사전 토목 공사와 조업도 달성에 대비한 Roll Grinder 설치가 주 공사로 실시되었다. Laser Welder는 기존 용접기를 철거하고 그 위에 새로운 용접기를 설치해야 하는 2중의 공사를 실시하여야 하므로 최대한의 공사기간을 단축하기 위하여 Off Line에서 Laser Welder의 기초공사를 실시하여 Line 정지시 기초를 옮기는 방식을 취하였다.

(2) 본공사 : 2003. 2. 19 ~ 4. 20 (61일)

Main Event로는 입축의 용접기 설치가 Bottle Neck 공정으로 실시되었다. Mill은 #1 Stand Work Roll Shift화, 유압압하 시스템 개선, 입축 Bridle Roll 개조, Coolant System 개조 등이 본 공사 기간에 실시되었다. Cold Run 기간은 4월 7일부터 14일간 실시되었으며, 계획대비 준공일을 3일 단축하였다.

2.2 설비구성

합리화 공사로 개조된 설비는 스테인리스강의 생산을 위한 탄소강 Process와 스테인리스 생산 Process와의 공정간 Interface 문제를 해결하기 위하여 입출측 설비를 개조하였다. 연속공정에서의 생산성 확보를 위해 용접기를 Flash Butte Welder에서 Laser Type으로 변경하였으며, Tandem Mill에서의 스테인리스 연속압연을 위한 Coolant System을 추가하였다. 고객사의 품질에 대한 엄격한 요구에 대응하기 위하여 유압 압하시스템을 Upgrade하여 길이 방향 두께 품질을 개선하였다. 또한, 폭 방향 두께 제어가 가능토록 설비를 개조하였다. #1 Stand에 Work Roll Shifting 기능을 도입하였으며, #4 Stand 후방에 Edge Drop계를 설치하여 On-Line으로 폭 방향 두께 제어를 실시하였다. 스테인리스강은 일반강에 비해 압연작업시 고장력 작업이 수행됨에 따라 Mill 입측의 장력안정화를 위해 Bridle Roll을 증설하였다. 스테인리스강의 표면확보를 위해서 신설 Roll Grinder를 설치하였다.

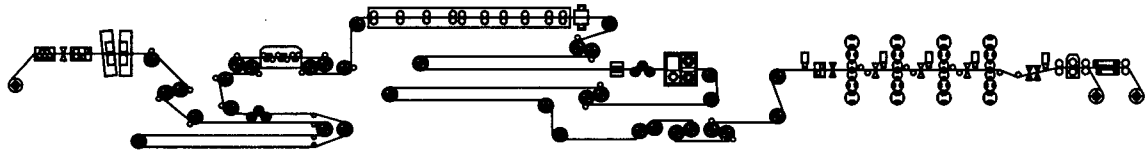


Fig. 1 Layout of PCM(Pickling and tandem cold rolling mill)

2.3 조업도 현황

합리화 공사 후 3개월에 걸쳐 조업도 달성을 추진하였다. 조업도의 조기 달성을 위해 Task Force 활동을 수행하였다. Task Force 활동은 조업, 정비가 합동으로 실시하였으며 조업 초기 예상되는 설비 Trouble을 사전에 예방하고 생산성 향상을 위해 설비를 개선하였다. 생산성 향상을 위해 용접기 관리를 엄격하게 하여 작업율을 향상하였으며, 품질 확보를 위해 6 Sigma 활동을 병행하였다. 특히 스테인리스강의 표면품질 확보를 위해 입측 설비를 개조하였으며, 냉간압연에서의 원활성 향상으로 Heat Streak 문제를 해결하여 정상 조업도 계획을 단축하였다.

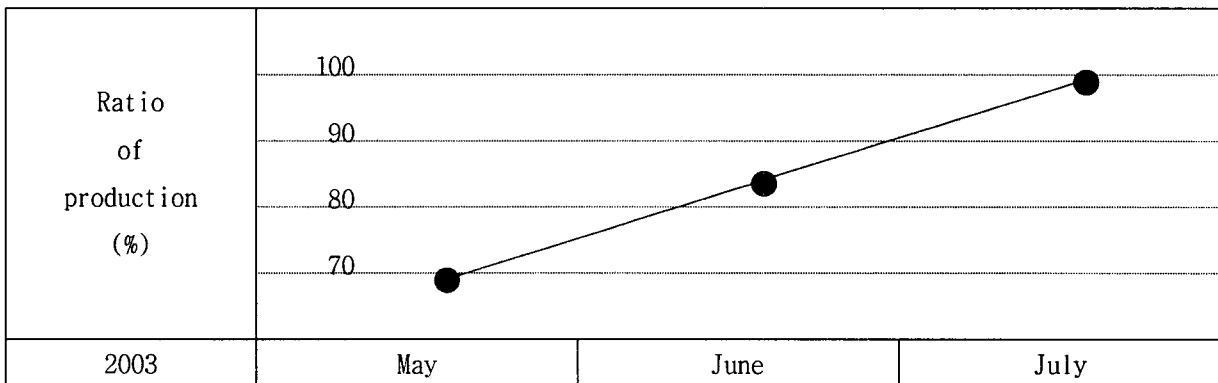


Fig. 2 Learning curve of production

Table 2 Main equipments of PCM revamping

Item	Before revamping	After revamping	Purpose
Pay off reel	Diameter : 762mm	Diameter : 762/610mm	Both STS and carbon coil inner diameter
Tension reel	Diameter : 508mm	Diameter : 508/610mm	Same as above
Welder	Flash Butt	CO ₂ Laser	Welding for stainless
Coolant sys'	1 Type	2 Type	Stainless rolling coolant
Tension bridle	2 roll type	4 roll type	Stabilization of tension deviation
Push-up sys'	Hydraulic	High performance Hydraulic system	Improvement of thickness deviation
WR shift	None	No.1 stand	Improvement of thickness profile
Edge drop meter	None	Exit of 4 stand	Same as above
Roll grinder	-	Another one	Improvement of surface quality

3. STS 생산기술

3.1 스테인리스 제조 Process

기존의 스테인리스 제조 공정은 열간 압연된 Black coil을 소둔산세를 실시하여 White coil을 제조하였다. 소둔산세된 Coil은 Reverse Mill에서 냉간 압연을 실시하고, 냉연소둔산세 공정을 거쳐 최종 제품을 제조하였다. 합리화 이후의 변경된 제조 공정은 White coil을 Tandem Mill에서 압연을 실시하고, CAL(Continuous Annealing Line)에서 연속 소둔을 실시한다. CAL 작업후 Strip 표면의 Temper Color를 제거하기 위하여 산세처리를 마치면 제품으로 입고되는 Process를 적용하였다.

Table 3 Stainless making process

Before revamping	H-AP ⇒ CRM ⇒ C-AP ⇒ Products
After revamping	H-AP ⇒ PCM ⇒ CAL ⇒ H-AP(Pickling) ⇒ Products

3.2 Laser Welder 적용기술

레이저에 의한 용접은 빛을 이용하는 용접 공정이며 매우 작은 점으로 접속된 레이저 광에서 변환되는 높은 밀도의 에너지를 써서 Keyhole 용융 현상을 수반하는 용접 방법이다. 따라서, 양호한 용접품질을 확보하기 위해서는 기계적, 전기적 정밀도를 기반으로 한 최적의 용접 Parameter 설정이 필요하다. 본 합리화에서는 Laser Welder를 이용하여 일반강, 스테인리스강, 고탄소강, 고Si강 등의 용접기술을 확보하였다. Laser Welder의 적용 효과로는 기존 Flash Butt Welder 대비 용접품질이 우수하며, 용접시간 단축으로 인한 생산성 향상을 기대할 수 있다.

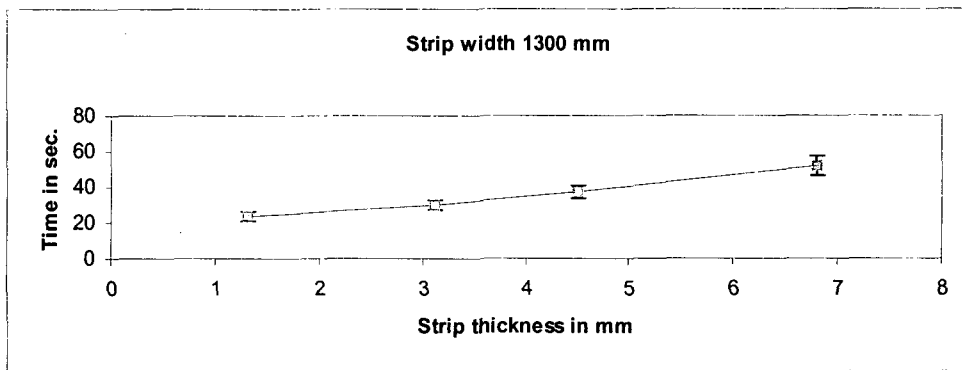


Fig. 3 Average welding time

3.2.1 Laser Welder 설비구성

Laser welder는 크게 네 부분으로 구성되어 있다. 용접기를 구성하는 각 부분은 입측, 용접기 본체, Laser 발진기, 출측 설비로 구성되어 있다. 각 설비의 주요 기능으로는 전후 Coil의 위치 제어를 위한 용접기 전후단의 Pinch roll, Looper table, Clamping table이 각각 설치되어 있다. 용접기 본체는 Double cut shear와 용접기 Carriage, 용접 Header로 구성되어 용접이 이루어진다. Laser 발진기는 용접기 Carriage 상부에 설치되어 용접중 Carriage와 같이 움직이도록 구성되어 있다. 본 Laser 용접기는 CO₂ Gas를 사용하여 Laser를 발진한다. 보조 Gas와 보호 Gas는 헬륨을 사용하며 최대 용량은 12KW이다. 사용되는 Gas는 CO₂, N₂, He이 사용된다.

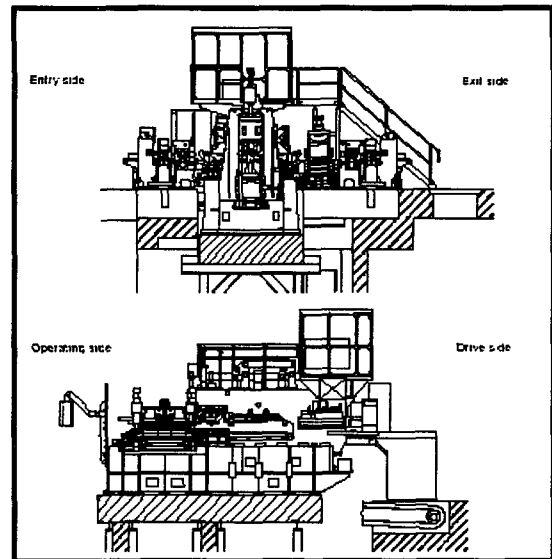


Fig. 4 Layout of laser welder

3.2.2 Laser Welder 용접품질 확보기술

합리화 이전 사용되었던 Flash Butt Welder는 용접부 열영향부가 넓고 용접시 산화가 쉬워 용접성이 나쁜 단점이 있었다. 또한, 강의 물리적 성질 향상을 위해 첨가물을 사용할 경우 용접품질 확보에 어려움이 있었다. 스테인리스강의 용접에 Flash Butt Welder를 이용한 시도가 있었지만 용접품질 확보는 곤란하였다. 이러한 문제점을 보완한 Laser Welder의 특징으로는 용접 열영향부가 적고, 열 효율이 높아 일반강 및 특수강의 용접에 장점이 있다. 그러나, 국부적으로 과대한 열량을 단시간에 주사해야 하므로 기계적, 전기적 정밀도를 요구한다. 특히, Laser Beam에 의한 모재의 원활한 용융을 위하여 Knife 관리가 엄격하게 요구된다.



Fig. 5 Side view of laser welding

Laser Welder의 용접 Parameter로는 용접 Speed, Laser Power, Laser Focus 위치, Laser Head Pressure, Table Distance, Planishing Force, Pre & Post Power, Wire Feed Speed가 있다. 용접 Parameter는 강종 및 Size별로 구성되어 있다.

최적의 용접 품질을 얻기 위해서는 용접되는 모재의 Cutting후 Strip간의 간격관리가 중요한 기술적인 문제로 대두되었다. Cutting후 일정한 간격을 얻기 위해서는 Reference Strip을 이용한 Zeroing이 중요하다. 이의 정밀도 확보를 위해서 표준 Sample을 이용한 Cutting후 Strip간의 간격을 보정해 줄 필요가 있다. Cutting 길이의 변화는 재질 및 두께에 따라 변화하는 특성을 보였다. 이러한 재질 및 두께에 따른 Strip 간의 길이 변화에 대응하기 위하여 별도의 용접 Parameter 설정이 필요하다. 또한, 용접 Cutting 방법에 따라서도 Edge 길이의 변화하는 특성을 보였다. 이는 전단시 Strip이 받는 힘과 기계적으로 지지해 주는 설비적인 특성에 기인하는 것으로 해석된다.

Table 4 Range of welding parameters

Parameter	Range	Parameter	Range
Welding Speed	1 ~ 15mpm	Table Distance	0.05 ~ 0.2mm
Laser Power	0 ~ 12KW	Planishing Force	0 ~ 50kN
Laser Focus	+2 ~ -5	Pre & Post Power	0 ~ 30kN
Head Pressure	0 ~ 40kN	Wire Feed Speed	0 ~ 10mpm

3.2.3 스테인리스 Laser Welding의 특징

스테인리스강의 용접품질 확보를 위해 본 합리화에서는 Filler Wire 사용기술을 개발하였다. 일반강의 경우 Laser Welder에서 Filler Wire를 사용하는 경우도 있으나, 이 경우 Laser 열원을 직접 모재에 주사하지 못하여 열 손실이 발생한다. 또한 Wire 부분의 기하학적 형상으로 인하여 Bead부를 Grinding 할 경우 입측 Handling Time 손실로 인하여 생산성이 저하된다.

그러나, 스테인리스강의 경우 용접시 발생하는 용융부의 변태로 인한 기계적 성질 저하를 보상하기 위하여 Filler Wire를 적용할 수 밖에 없었다. 일부 스테인리스 Grade에서는 용접봉을 사용하지 않을 경우도 있으나 일반적으로 400계에는 적용하는 것이 양호한 용접품질을 확보하였다. Filler Wire Speed를 결정하는 변수로는 입출측 두께, 용접 속도, Gap 간격 등이 있으며, 최적 용접 Parameter를 얻기 위하여 각 변수를 수식화하여 적용하였다. 또한, Filler Wire의 재질선정은 용접 품질을 확보하는 필수적인 요소이다. 이번 합리화에서는 스테인리스 생산을 위한 용접봉 선정으로 고 Ni계를 적용하여 용접부의 인성향상을 도모하였다.

$$F_s = f(H_1, h_1, W_s, T)$$

Where F_s is Filler wire speed, H_1 is Entry strip thickness, W_s is Welding speed,
 T is Gap distance

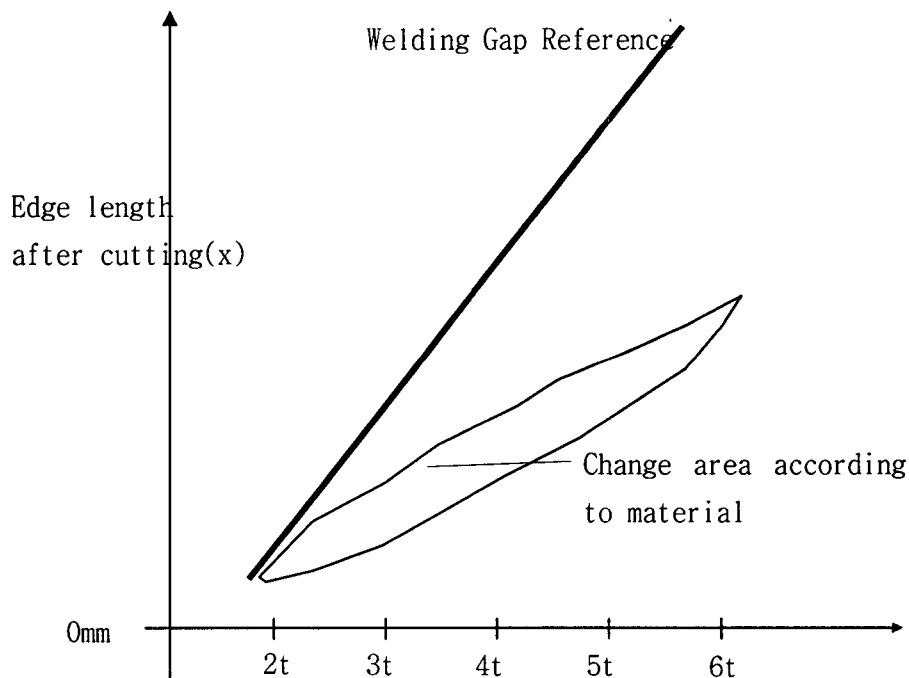


Fig. 6 Change of edge length after cutting according to material and thickness

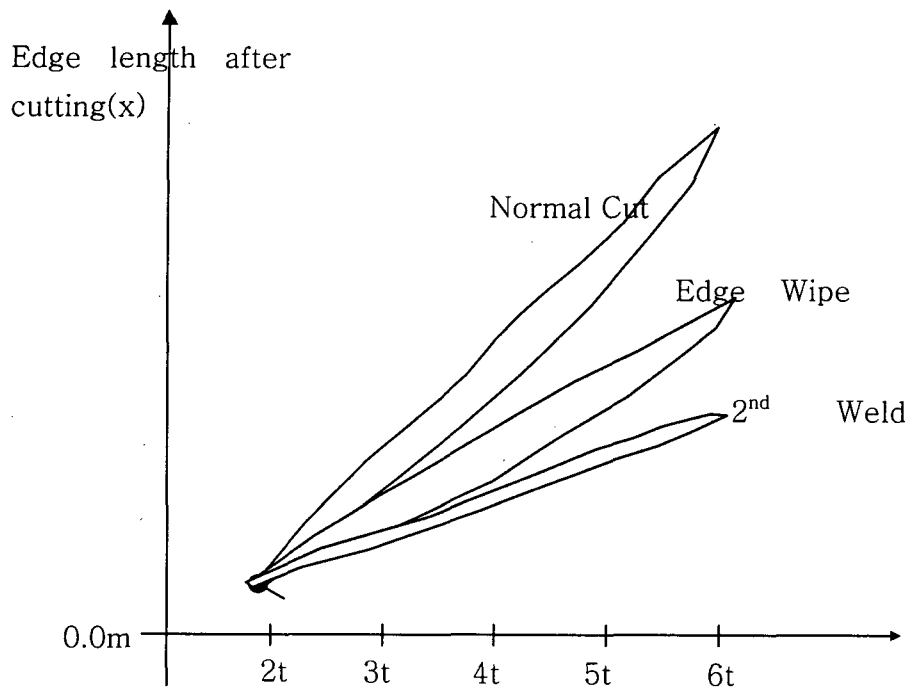


Fig. 7 Change of edge length after cutting according to cutting mode

3.3 스테인리스 연속압연기술

스테인리스는 일반강에 비해 열전도도가 낮고 변형저항이 높아 냉간압연에 많은 제약조건이 따른다. 특히 고생산을 얻기 위해서는 고속 압연이 이루어져야 하나, 압연중 발생하는 가공발열로 인하여 표면결함이 발생하기 쉬운 특징이 있다. 이러한 고속 압연에서 발생하는 Heat Streak는 총 압하율, Pass Schedule, 사용되는 Roll 조건, 압연유 조건, 판의 온도 조건에 영향을 받는다. 2냉연 합리화를 전후로 해서 STS Tandem 압연 Test 결과, 많은 표면결함들이 발생하였다.

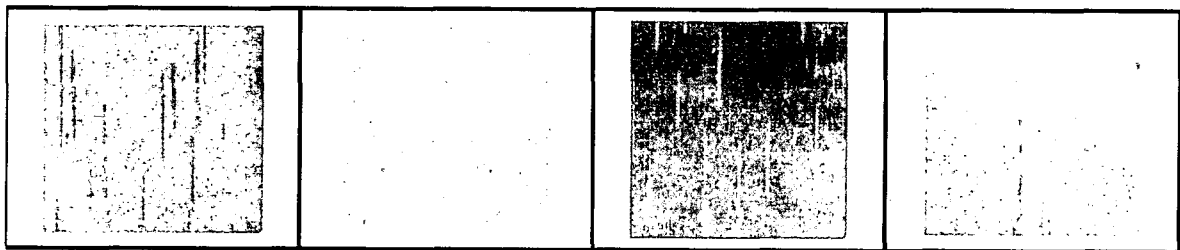


Fig. 8 Surface defect after cold rolling in stainless 409

냉간 압연시 발생하는 스테인리스강의 표면결함을 방지하기 위하여 당사는 6-Sigma 활동과 병행하여 본 문제를 해결하였다. 우선 스테인리스 White Coil은 일반강에 비해 Coil 이송 및 통관

시 굽히기 쉬운 특징이 있다. 이를 해결하기 위하여 이송, 통판, 압연에서의 수동작업시 발생하는 표면 긁힘을 방지하기 위하여 코일 이송 및 통판시 판과 간섭되는 모든 설비를 개선하여 판의 표면 긁힘을 방지하였다.

압연의 주요한 결함인 Heat Streak를 방지하기 위하여 Stand별 Roll 사용기준을 정립 적용하였다. 또한, Pass Schedule의 부적절로 인한 Slip에 의한 판의 결함을 방지하기 위하여 강종별, Size별 적정 Pass Schedule을 개발하였다.

그러나, 냉간 압연에서의 윤활조건 부족에 의한 근본적인 원인을 해결하기 위하여 본 합리화에서는 일반강과 스테인리스 겸용 압연유를 개발하였다. 일반강 및 스테인리스강 압연유 이원화를 고려하였으나, 압연유 혼유에 의한 잠재적 문제가 예상되었다. 일반강과 스테인리스강 사이의 강종 전환시 배관 및 Stand에 잔류하는 압연유로 인한 압연유 혼유가 1차 발생하고, 혼입된 압연유에 의해 2차 냉간압연시 판의 표면결함이 예상된다. 따라서, 당사는 일반강과 스테인리스강 압연이 가능한 단일 압연유를 개발하였다. 개발된 압연유는 일반강의 압연성을 확보함은 물론이고, 스테인리스 작업시 발생하는 표면결함도 방지하였다.

4. 결론

포항 2냉연공장은 본 합리화를 통하여 일반 냉연 Process를 이용한 스테인리스 제조기술을 확보하였다.

(1) 냉연 Process에서의 스테인리스 생산을 위한 입출측 Pay Off Reel, Tension Reel 설비를 개조하여 전후 공정간의 Interface를 해결하였다.

(2) 연속공정의 생산성 향상을 확보하기 위하여 Laser Welder를 이용한 일반강 및 스테인리스강의 용접부 품질 확보 기술을 개발하였다.

(3) Tandem Mill에서의 스테인리스 생산기술을 확보하여 양호한 표면품질을 확보함과 동시에 고생산성 기술을 개발하였다.

포항 2냉연공장은 합리화를 통해 확보된 스테인리스 생산기술을 바탕으로 증대가 예상되는 400계 스테인리스 수요에 대응이 가능해졌으며, 공정의 연속화 및 고생산성으로 인한 원가경쟁력이 강화되었다.

감사의 글

이 사업의 성공을 위해 최선을 다해주신 2냉연 합리화팀원, 설비공급사 및 안전공사를 수행해 주신 POSCO E&C 관계자 여러분께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. M. Kobayashi et. al, Kawasaki steel technical report, Vol 20, pp 20-26, 1998
2. A. Azushima et. al, Plastic & Machining, Vol 44, pp 62-65, 2003

3. A. Azushima et. al, Processing of the 42nd plastic conference, pp 893-896, 1991
4. Idemitsu, Processing of the memorial conference for Seo-san, Vol 148, pp 63-95, 1993
5. K. Kenmochi et. al, ISIJ, Vol 10, pp 42~49, 1992
6. K. Kenmochi et. al, Journal of the JSOP, Vol 41, pp 59-63, 2000
7. A. Fukuhara et. al, Kawasaki steel technical report, Vol 27, pp 23-30, 1992
8. Miebach, Contract specification for laser welder, 2002