

<기조강연>

강판 열간압연의 기술개발 동향

신수철*

포항제철소, 포항종합제철주식회사

Recent Trend in Hot Rolling Technology of Steels

S.C.Shin*

Pohang Works, POSCO

Abstract

The recent technical trend in hot rolling of steel can be described as process and product technologies which have been progressed with modern mill equipment and computers. Precise gauge and width control can be achieved by up-to-date control methods such as AGC and AWC systems. Roll benders and various shape control systems enabled high quality flatness and crown control. Mills can produce higher tensile materials by new process based on process metallurgy. The use of high speed steel rolls and on line roll grinders make the schedule free rolling easier which results in cost saving. Process itself goes toward continuous and simple flow type which has lower operation cost. Endless rolling and strip casting are examples of the trend. Materials with higher tensile strength and various functions have been developed in last years to meet the customer's needs and this trend will continue.

Key words : hot rolling, plate rolling, schedule free rolling, TMCP

1. 서론

인류가 처음 철을 사용해 온 이래 철을 다루는 기술은 지속적으로 발전해 왔다. 그중 열간압연기술 분야는 1783년 영국의 H. Court의 초기압연기의 개발을 시발로 1779년 Pickard의 증기기관 압연기, 1894년에는 전동기를 이용한 압연기가 등장하였고 19세기 초에는 3중압연기에 의한 압연이 실시되었으며 1920년대에 multistand 연속압연 방식이 개발되어 오늘에 이르고 있다.

현대식 열간압연기술은 상기의 열간압연기의 개발과 더불어 비약적으로 발전하였는데 이를 크게 공정기술과 제품기술로 나눌 수 있다. 공정기술은 열연공장의 각 설비의 공정변수를 조정 제어 함에 의한 판치수 제어의 고정도화, 제어냉각 및 Process Metallurgy 기술을 바탕으로한 냉각제어기술의 고도화, Schedule Free 압연기술에 의한 공정제약의 해소, 자동화에 의한 관리효율의 증대 등이 있으며 제품기술은 자동차용고장력강, Line Pipe용 고장력강(API재)등의 고강도강을 제조하는 기술 및 내지진강, 내화강, 무도장강, 내식강 등의 고기능 강재를 제조하는 기술로 나눌 수 있다.

본 고에서는, 공정기술과 제품기술의 발전추이와 금후의 발전 전망에 대하여 언급하고자 한다.

2. 열간압연기술의 발전방향

2.1 판치수(두께, 폭)제어의 고정도화

2.1.1 두께제어 기술

열연판의 두께제어기술은 크게 Set Up 제어와 AGC 제어로 나눌 수 있다. Set up 제어는 피압연재의

온도, 재질, 두께등을 이용하여 압연하중을 예측하고 압연기의 강성을 고려하여 각 사상압연기의 Roll gap을 원하는 두께의 제품을 얻을 수 있도록 설정하는 기술로서 각 밀들이 기술개발에 많은 노력을 경주하고 있으며 AGC (Automatic Gauge Control)제어는 압연중 두께변동을 억제하기 위한 자동 판두께 제어기술로서 유압AGC의 채용에 의해 제어성능이 비약적으로 발전하였으며 고속Feed Back, 절대치 AGC, Stand간 중간두께계를 이용한 Feed Forward AGC의 채용에 의해 더욱더 정밀한 판두께의 제어가 가능하게 되었다. 이밖에 Slab의 균일가열에 의한 판내 온도분포의 개선, 관련계측기술의 발달로 열연판의 두께제어는 목표두께에 편차가 거의 없이 제어 가능한 수준으로 발전하였다.

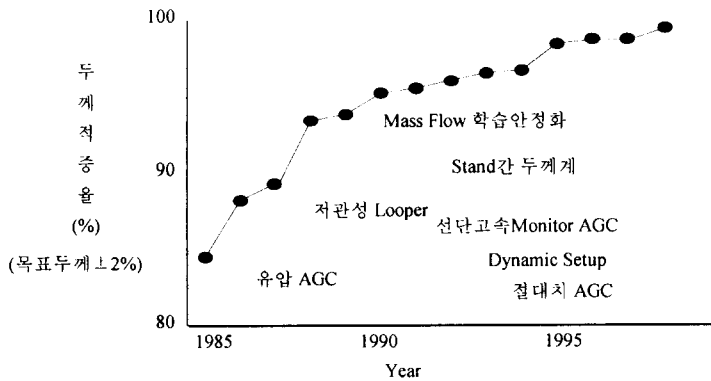


Fig.1 Trends of gauge within target tolerance.

2.1.2 폭제어 기술

열연판의 폭제어기술은 열연 조압연공정에서의 폭압연량에 따른 Edger 설정기술 및 자동 폭제어기술인 AWC(Automatic Width Control) 제어기술의 정착, 사상압연기의 장력에 의한 Tension AWC 기술, 스트립 선후단부의 폭변동을 방지하는 스피드 제어기술의 정밀화에 의해 크게 향상되었다. 최근에는 공정단순화의 요구에 의해 Sizing press 가 채용되어 종래의 Heavy Edger 법과 비교하여 Dog Bone의 발생을 줄이면서 폭압연량이 350mm 까지 가능 하게 되어 실수율의 하락 없이 공정제약을 해소할 수 있게 되었다.

2.2 형상제어기술

2.2.1 열연판의 형상제어기술

열연판의 형상은 판 단면형상인Crown 과 평탄도(Flatness)로 구분할 수 있다. 판 Crown의 결정 요소는 열간압연중 Roll의 휨변형에 의한 판단면의 중심부와 단면부의 두께차이인 Mechanical Crown 과 Roll의 초기Crown ,Rol l의마모 및 열팽창, 피압연재의 초기단면형상,폭방향의 Metal Flow등이며 판두께에 대한 크라운의 비를 일정하게 유지하여 압연중 Wave의 발생을 억제하여야 한다. 압연중 판의 평탄도에 영향을 미치는 요소는 피압연재의 압연기 입출측 Crown 비,압연기 부하배분,Roll의 조건, 폭방향 마찰계수분포 등이다. 또한 판폭방향 및 두께방향의 불균일냉각에 의해 잔류응력이 발생하면 평탄도가 악화되므로 평탄도가 양호한 판을 얻기 위해서는 균일한 냉각제어가 매우 중요한 요소이다.

평탄도와 Crown을 효과적으로 제어하기 위해 각종 형상제어 설비가 도입되었으며 대표적으로 Work Roll Bender, Pair Cross Mill, Work Roll Shift Mill, CVC Roll등이 있으며 그림2에 개념도를 나타내었다.

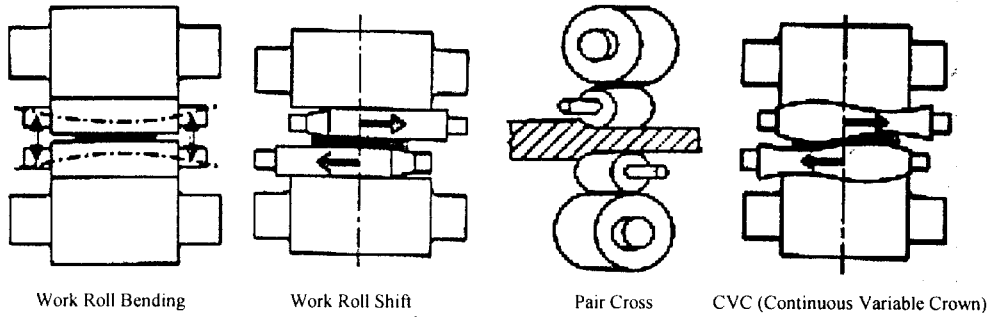


Fig 2. Schematic diagrams of various shape control mills

2.2.2 후판평면형상제어 기술

후판제품에서는 as rolled 상태의 날판형상이 실수율에 미치는 영향이 매우 크므로 날판의 형상을 직각화하여 실수율을 높이려는 노력이 계속되어 왔다. 특히 폭내기 압연시 Dog Bone을 형성시키고 90도 회전시킨 후 길이내기 압연시 Edging을 통하여 직각도가 우수한 날판을 제작하는 기술을 개발하여 실수율을 크게 향상 시켰다. 그림3은 Edger 압연법 및 평면형상제어법에 의해 실수율이 향상된 추이를 보여주고 있다.

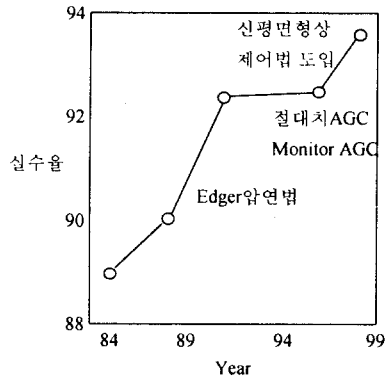


Fig.3. Trends of plate yield by the plane shape control technique

2.3 열간압연시 재질 확보 기술

열간압연후의 재료의 기계적성질은 소재의 성분, 가열조건, 압연중의 변형 및 냉각조건에 의해 결정되는 것으로서 용도에 알맞는 제품의 재질을 확보하기 위하여서는 적절한 합금설계와 Process Design 으로서 가열온도 및 시간, 각 단계별 압연량 냉각온도 및 속도의 설정이 중요하다. 최근들어 열간압연 조건에 의해 재질을 예측하는 재질예측기술과 압연조건을 변형시켜 재질을 제어하는 Process Metallurgy 기술이 개발되어 실생산에 적용되고 있는 단계에 있다.

2.3.1 온도제어 기술

열간압연시의 온도제어는 균일가열 및 로내석출물 제어를 위한 가열온도제어, 압연종료시의 γ 결정립 제어를 위한 다듬질압연 종료온도 제어, 결정립 및 석출물 제어를 통한 최종기계적 성질의 확보를 위한 권취온도제어등이 있다. 이와같이 압연중의 온도제어의 정밀도에 의해 재료의 기계적 성질이 결정되므로 편차를 최소화하여 관리 할 수 있도록 각 Mill들은 노력을 경주하고 있다.

2.3.2 TMCP(Thermo Mechanical Control Process)기술

후판제품에서 결정입도를 미세화시켜 고인성의 제품을 얻기위하여 압연후 별도의 열처리 공정을 거치는것이 종래의 제조법이였으나 Ar3직상의 저온역에서 제어압연 후 강냉각을 실시하여 고인성 고장력강을 제조하는 TMCP 기술의 도입으로 별도의 열처리 공정을 생략하고 제어압연에 의한 결정립의 미세화, 제어 냉각에 의한 고장력화, 합금성분을 줄임에 의한 용접성 개선이 가능하게 되었다. 그림4는 TMCP기술의 개념도를 나타낸 것이다

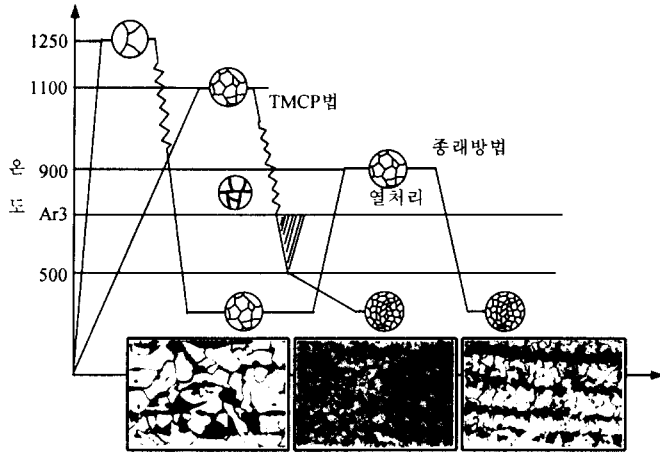


Fig 4. Schematic diagrams of thermomechanical control process (TMCP)

2.3.3 재질예측제어 기술

종래에는 첨가한 합금원소량 및 압연온도실적에 의한 통계적인 방식에 의해 기계적성질을 예측하였으나 재질예측제어기술은 열간압연중 일어나는 야금학적 변화와 이들의 이들의 기계적성질과의 관계를 수식화한 금속학적 모델을 이용하여 온라인으로 기계적성질을 예측하는 기술이다. 또한 제조인자를 제어함으로써 재질을 다양화하고 공정관리를 최적화하며 생산성을 향상시키는 Computer Aided Manufacturing Technology 라고 할 수 있다. 이 기술은 압연에 의한 결정입도제어와 냉각에 의한 조직제어로 제조가능 강도범위를 확대함으로써 성분집약화와, 강종단순화를 이룰 수 있고 부가적으로 기계적성질보증을 위한 시편채취 및 분석을 생략할 수도 있다. 그림5는

재질예측제어 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

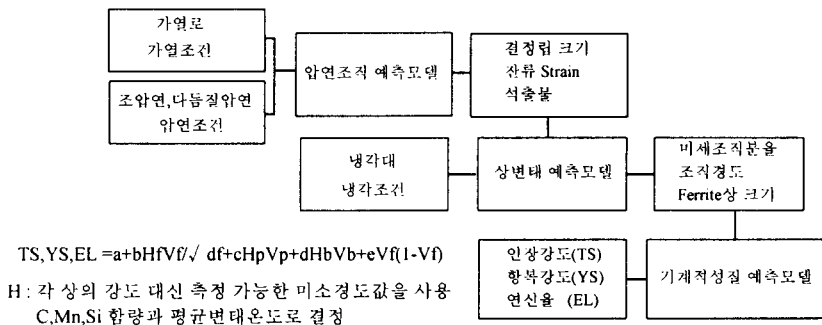


Fig 5. Schematic diagrams of prediction and control technology of the mechanical properties of steel

2.4 Schedule Free 압연기술

열간압연이 진행됨에 따라 롤의 국부마모량이 증가하면 스트립의 형상이 악화되고, 선행재보다 후행재의 폭이 넓은 폭역전 압연시에는 롤의 마모부분이 후행재의 판단면 형상에 영향을 미치게 되는 제약조건이 있어서 압연 Schedule은 광폭재에서 협폭재로 진행되는 이른바 Coffin Schedule 을 준수하였다. 그러나 이러한 Schedule 편성상의 제약은 납기의 연장, 생산성의 저하, 공정부하 가중등의 문제점이 있으므로 열연공정에서는 Schedule Free Rolling의 실현을 위해 많은 노력을 기울여 왔다.

Schedule Free Rolling이 실현되면 물류개선 및 재고감소, 제품납기단축, HCR 효율증대, 물고체 주기 연장, 생산성의 향상, 인원감축등의 효과를 기대할 수 있다.

Schedule Free Rolling의 실현을 위한 요소기술에는 Roll마모에 대한 대책, 형상제어능력확보, 그리고 공정의 효율성을 위한 대폭압연기술등을 들 수 있다. Roll의 마모에 관한 대책으로서는 종래의 Roll에 비해 내마모성이 5배이상으로 우수한 고속도강Roll(HSS Roll)을 채용하여 획기적인 개선을 이룩하였으며 Roll 마모분산을 위한 Shift Mill 과 온라인에서 Roll 국부마모를 연마하는 ORG설비가 도입되어 많은 성과를 거두고 있다. 또한 형상제어능력의 확보를 위해 Pair Cross Mill 및CVC Mill 을 활용하고 있으며 폭압연의 능력을 확보하기 위하여 Sizing Press 설비를 채용하는 Mill이 많아지고 있다.

2.5 열간압연분야의 신기술

2.5.1 Endless Rolling

제철Process의 연속화 추세에 따라 열간압연공정에서도 조압연 후의 Bar와 Bar를 접합하여 연속 사상압연후 분할 권취하는 기술인 연연속열연법이 1996년3월 일본 KSC 千葉3열연공장에 처음으로 도입되었다. 설비적으로는 기존의 열연라인에 Coil Box, 접합장치, 고속Shear를 추가하였으며 고도의 Tracking 기술 및 제어기술의 확보가 필수적이다. 연연속압연을 실시하면 지금까지 열연강판의 최소두께는 1.2mm로 여겨졌으나 0.8mm의 초극박 열연강판도 제조 가능하며 종래의 압연법에서 문제점으로 지적되어온 Coil 선후단부의 품질이 개선되고 통관속도의 증가에 의해 생산성을 크게 향상시킬 수 있어서 현재 세계의 각 Mill에서 연속화투자에 많은 관심을 갖고 있는 중이다. 그림6은 연연속열연의 개념도 및 요소기술을 나타낸 것이다.

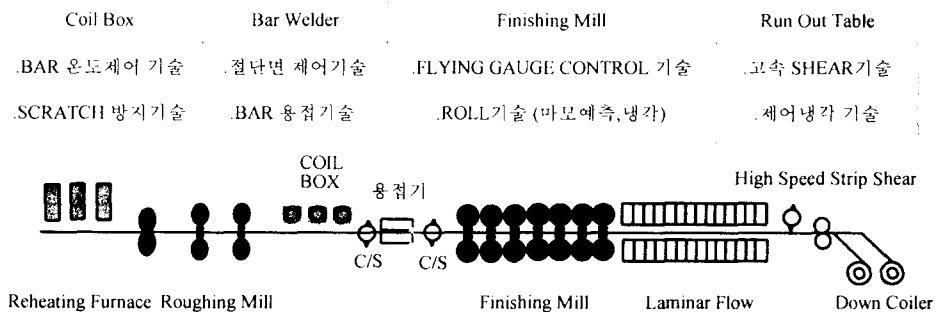


Fig 6.Key technology and typical layout of endless rolling

2.5.2 Strip Casting

열간압연공정용 생략하고 용강의 상태에서 직접 스트립으로 연속주조하는 기술로서 스테인레스강과 같은 특수강의 생산에 적용되고 있다. 연주기의 형태별로는 Twin Drum 식, Belt Caster 식 등이 있으며 현재 일본 NSC의 光 제철소에 Twin Drum 식이 실기화 되어 있다. 표면조도, Strip 단면형상, Edge부의 품질등에 해결해야 할 과제가 남아 있으나 획기적인 기술로서 평가받고 있다.

2.6 공정관리의 자동화 및 정보관리

열간압연공정의 관리는 수주에서 출하까지의 물류흐름을 담당하는 Business Computer로부터 작업지시를 받아 압연설비를 제어하여 압연후 작업실적을 송부하는 SCC(Supervisory Control Computer)를 중심으로 하고 부대 시스템으로서 Slab Yard, Coil Yard 를 관리하는 Yard자동화 Computer로 구성되어 있다. SCC는 압연설비의 각 요소설비를 제어하는 여러대의 하위 Computer와 연결되어 압연작업을 수행하게 되며 거의 전자동으로 생산이 진행된다.(그림 7참조) 한편 온도, 치수,형상,표면품질, 재질등의 실적과 압연이력은 종합정보관리 시스템에 입력되어 품질의 예측관리, 작업실적의 통계적 분석,고객사의 품질보증등의 자료로 활용되고 있다.

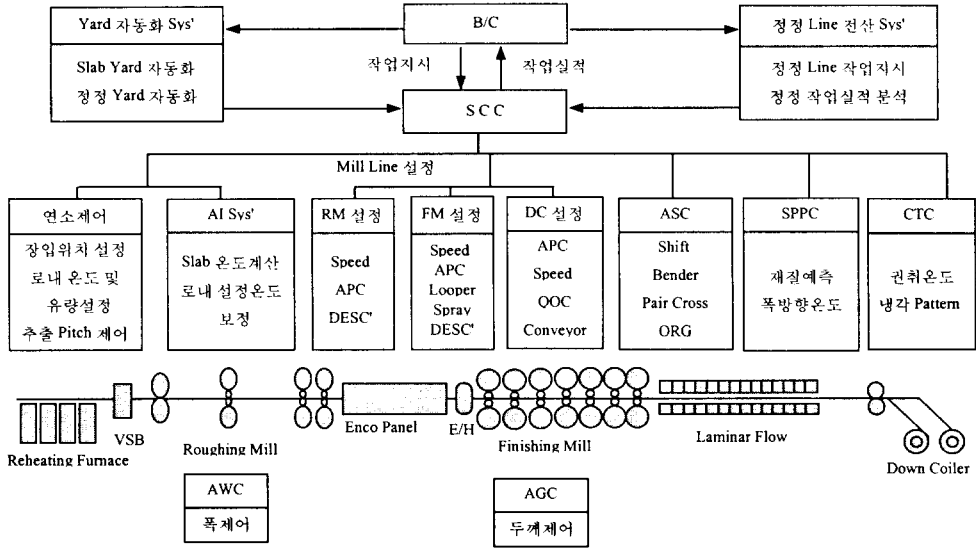


Fig 7. Schematic diagram of process control system in hot strip mills

2.7 제품개발추이

최근의 열연 및 후판제품의 개발추이는 고강도화 및 고기능화로 특징지을 수 있다. 구체적으로는 압연과 열처리기술을 조합한 제어압연, 제어냉각등에 기반을 두고 여기에다 계측기기의 발전, 제어모델의 정도향상 및 정비기술의 진보에 의해 고강도 고기능 제품의 생산이 가능하게 되었으며 이는 고객사의 Needs를 만족시키기위한 지속적인 노력에 의해 이루어진 결과로서 앞으로도 이러한 추이는 계속 될 것으로 전망된다. 그림 8과 9에 열연 및 후판제품의 개발 추이를 나타내었다.

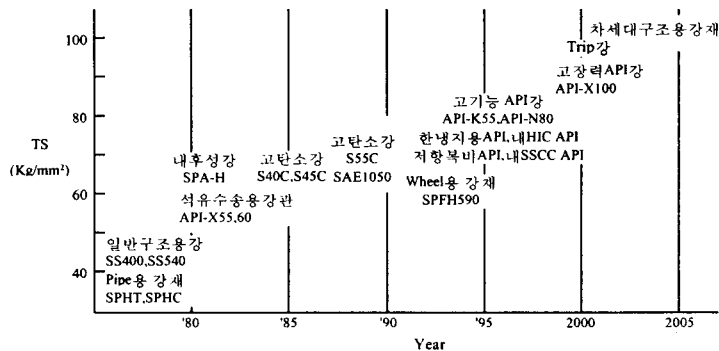


Fig 8. Trends of hot rolled products

구분	85년	90년	95년	2000년	2005년
조선, 해양구조용	Normalizing강 ▶ YP32.36 Gr. 해양구조용	TMCP형 YP32.36 Gr	TMCP형 YP40 대일연용관용강	내환성 및 특수기능 강재 ▶ 내유산성강, 채권강 표충조세틸강	
강관용	고강도 및 TMCP 적용 ▶ X70강 ▶ TMCP형 X65, 70, 80		내환성 강재 개발 ▶ Sour Gas 용 X65 ▶ Sour Gas 용 X70 극한 저용 X70		
건설용	고강도화 ▶ 내후성강 (HT50급) ▶ 내후성강 (HT60급)	서항복비, 유식 보수 겸강 강재 ▶ TMCP형 HT50 ▶ 철탑용 HT60	고기능화, 경제성 ▶ 내외강 HT60 무도강 내후성강 ▶ 적항복비 HT60, 80		
보일러, 압력용기용	고강도 및 고용집성 ▶ RO형 SPV50 ▶ 예열병약형 (HT60)	내환성 강재 개발 ▶ DO형 SPV50 ▶ 내HIC용 압력용기용		내환성 강재의 고강도화 ▶ LNG굴뚝용 내식강	
저온용	용도별 차별화 제품개발 ▶ RO형 저온용강 및 9% Ni강 ▶ 3.5% Ni강 ▶ TMCP형 저온용강		파괴인성 향상 ▶ High Arrest강 ▶ DO형 9% Ni강		

Fig 8. Trends of hot plate rolling products

3. 결론

최근의 강관열간압연에 관한 요소기술의 동향에 관하여 고찰해 보았다. 열간압연기술은 제어정도의 고도화, 자동화 및 시스템화, 공정제약의 해소, 공정의 연속화 및 생략화 그리고 지속적인 연구개발등에 기반을 두고 발전하였으며 고품질의 제품 제조, 고기능의 제품 개발, 저Cost생산기술을 이룩하여 고객을 만족시키려는 노력이 지속적으로 유지되고 있다. 금후에도 신기술의 개발과 적용, 새로운 Process의 도입등 세계 각 Mill간의 국제경쟁력 향상과 우위의 선점을 위한 끝없는 경쟁이 있을 것으로 전망된다.