

# 새로운 압연 Process 구축을 통한 연화소둔 열처리 생략강개발

김병홍\*, 최규성\*, 허춘열\*, 김경원\*

## Development of Low Annealing Treatment Omission Steel by New Rolling Process

B. H. Kim, K. S. Choi, C. Y. Heo and K. W. Kim

### 1. 서론

최근 철강산업의 대량생산에 의한 생산비 절감과 고기능 소재개발에 의한 부가가치 증대 추세에 대응하기 위해 선재부문에서는 냉간압조용에 널리 사용되는 대표적 합금강인 JS-SCM435강종을 대상으로 열처리 생략이 가능한 제품제조 기술개발이 국내외적으로 많이 진행되고 있다. 이와 관련하여 해외 제철소의 대응내용을 살펴보면 일본 K사의 경우 850℃이하의 저온에서 마무리압연을 하고 냉각과정에서 가열이 가능한 서냉설비인 SCS(Slow Cooling System)을 설치하여 동강종을 대상으로 연화소둔열처리(Low Temperature Annealing, 이하 LA) 생략이 가능한 선재를 생산하고 있고 M사의 경우는 극저온 압연으로 연질의 저합금강인 Mild-alloy를 생산했다고 발표하고 있지만 상용적으로 생산 판매하는 것은 극히 제한적인 상황이다. 열처리 생략강을 개발하기 위한 각 회사별 접근 방법은 다르지만 궁극적으로는 열처리성이 개선된 제품을 적극개발하고 있다는 맥락에서는 공통점을 가지고 있다.

본 연구에서는 신제품 개발 및 최근 철강업계의 수요와 환경변화에 대응하고 지속적인 경쟁력을 확보하기 위해 POSCO 선재부문에서 추진한 기술개발 활동사례중 새로운 압연Process 구축을 통한 LA열처리생략강 개발을 위해 최종마무리 압연기 전단에 소재냉각 및 복열이 반복적으로 이루어

질 수 있도록 수냉Box와 복열Zone을 조합한 Loop Path를 설치하여 제어압연의 기반이 되는 최적의 압연조건을 도출하였고 부가적으로 최종 마무리압연을 통과한 제품에 대해 저온조직인 베이나이트가 발생하지 않도록 냉각속도 제어 기능을 향상시킨 터널형의 냉각설비를 구축함으로써 통상 인장강도값이 100kg/mm<sup>2</sup>를 초과하는 베이나이트 조직의 저합금강을 연화소둔 열처리 공정을 통과한 것과 동등한 수준의 75kg/mm<sup>2</sup>이하 페라이트+퍼얼라이트로 구성된 연질의 재질을 확보하여 1차고객사에서 실시하던 가공전 LA열처리공정을 생략한 개발내용을 중심으로 소개하고자 한다.

### 2. 이론적 배경

#### 2.1 선재압연 특성

열간압연은 압연제품의 형태에 따라 판압연과 공형압연으로 대별되며 판압연의 경우 상하롤이 특정한 형상을 가지고 있지 않은 반면 선재를 포함되는 공형압연의 경우 압연기의 롤에 최종제품의 형상을 제조하기 위해 다양한 형태로 롤을 가공하여 압연을 하는 특징이 있다. 공형압연은 롤형상의 배치에 따라 중소형 봉강압연에 고압하를 적용하기 위해 적용하는 Oval-Square법 및 Diamond-Square법과 선재압연과 같이 소형재를 생산하면서 고속압연에는 Oval-Round법이 통상적으로 채용되고 있다. 선재 압연은 공형압연이라는 특징이

\* 포항제철소 선재부 기술개발그룹

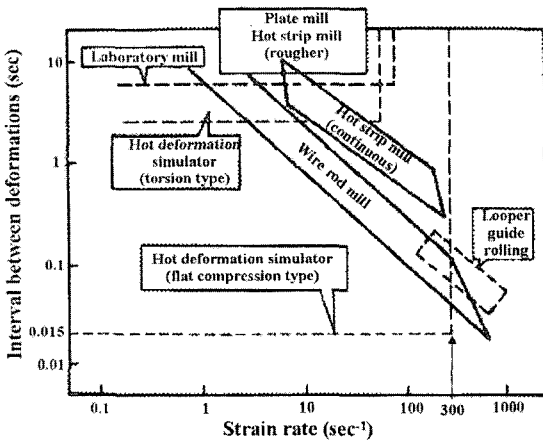


Fig. 1 압연재별 변형속도 및 Interpass Time

외에 Fig. 1에서 보듯이 판재에서는 마무리 압연기의 변형속도가 300/s정도인데 반해 선재압연에서는 최종 마무리 압연속도가 100m/s를 초과함에 따라 변형속도도 1000/s 이상이 되기 때문에 가공발열이 급격하게 증가하고 압연기간의 Interpass Time도 0.1~0.01초로 극히 짧아 Strain이 누적되어 압연중에도 동적재결정이 일어나는 것으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 이와 같이 고속압연을 하는 선재압연의 특성에 따라 변형온도, 변형속도 및 변형량의 제약때문에 판재보다는 압연 및 냉각공정 제어를 통한 재질개선이 상대적으로 어려운 측면이 있다. 그리고 선재압연제품은 열간 압연재 상태로 최종 용도로 직접 가공되는 경우는 매우 드물며, 최종 제품에 이르기까지 2차, 3차로 다양한 공정을 거친후 자동차의 차륜 구동장치와 주변의 주요 보안부품으로 활용되고 있기 때문에 경제적인 측면뿐만 아니라 공정의 간소화 측면에서 열처리 생략 또는 단축강의 개발 필요성이 크게 대두 되고 있는 실정이다.

## 2.2 압연조직 제어

### 2.2.1 압연온도와 조직

제어압연은 Ferrite변태핵이 생성될수 있는 위치를 압연온도 및 압하제어를 통해 인위적으로 Austenite 중에 다양하게 생성시켜 효율적으로 Ferrite를 미세화하는 기술로서 구체적인 압연방법으로 가열온도를 가능한 한 낮추어 압연전의 Austenite결정립 성장을 방지하고 압연Pass schedule을 최적화하여 재결정을 지연시킴으로써 미세결정

영역에서의 Austenite누적압연량을 증대하여 단위 체적당 입계면적과 변태대 계면적 증가에 의해 변태개시온도를 변경시킴으로써 통상의 압연압연조건에서 합금강 첨가하거나 열처리를 하였을 경우에 나타나는 재질과 동등한 재질을 확보할수 있는 압연방법으로 경제적으로도 매우 유용한 압연기술이다.

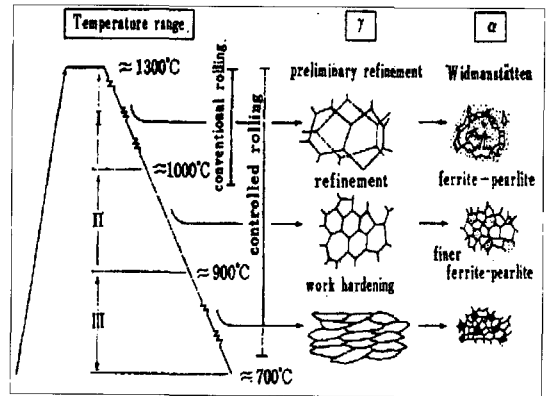


Fig. 2 압연온도별 압연조직 변화

Fig. 2는 온도에 따른 압연영역을 구분한 것으로서 통상적으로 일컫는 제어압연은 900°C이하의 준안정 Austenite 영역에서 압연을 마무리 압연을 실시하는 방법으로 통상압연과의 근본적인 차이는 통상압연의 경우 핵생성 위치가 대부분 결정입계에서만 이루어지는 반면 제어압연재에서는 재결정이 완전히 일어나지 않는 영역에서 압연이 이루어지기 때문에 결정입계뿐만 아니라 결정립내에도 변형에 의한 에너지를 통상압연재 대비 많이 축적하고 있기 때문에 추가적으로 핵생성 Site가 증가한다는 것이다.

이와 같이 압연온도 특히 마무리 압연온도에 따라 조직 및 기계적성질의 많은 변화를 나타내게 되는데, 다단(Multi-pass) 압연에서 압연온도에 따른 효과를 다음과 같이 세분화 할 수 있다. ① 1000°C이상의 압연온도에서는 Austenite는 급속하게 조대화되어 재결정이 일어나 Widman-taten조직의 발생을 방지하는 등 조직의 정상화에는 도움이 되지만 Ferrite는 미세화되지 않는다.(RangeI). ② 1000~900°C구간에서의 압연은 Austenite가 비교적 미세화되는 영역으로 ferrite도 약간은 미세화된다(RangeII). ③ 900°C이하에서 압하를 가하면, Austenite는 미재결정 상태로 미세화되지 않고 연신이되고 변태후의 Ferrite/Pearlite조직은

미세화되는데 이것은 Ferrite변태의 핵이 증가하기 때문이다.(RangeIII)

### 2.2.2 변태에 미치는 압연온도의 영향

미재결정 영역에서 압연시 변형띠(Deformation Band)에서의 Ferrite 변태 핵생성 가능성이 결정립계와 동등하다는 사실은 핵생성이 가능한 Austenite결정립들이 변형띠에 의하여 여러 조각으로 나뉘어져 결정립계의 증가효과를 갖는 것을 의미한다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 압연 및 합금성분을 달리하면 연속변태곡선의 변태개시점이 변화하게 되며 특히 제어압연을 통해 결정립을 미세화와 더불어 가공량이 증가하게 되면 C.C.T. Curve의 Nose부가  $\searrow$ (diagonal)방향으로 이동하는 효과를 나타내어 압연 완료된 소재가 Austenite에서 Ferrite + Pearlite로의 변태시간이 줄어들고 신성성에 불리한 Bainite 및 Martensite의 발생 가능성을 그 만큼 줄여줄 수 있다.

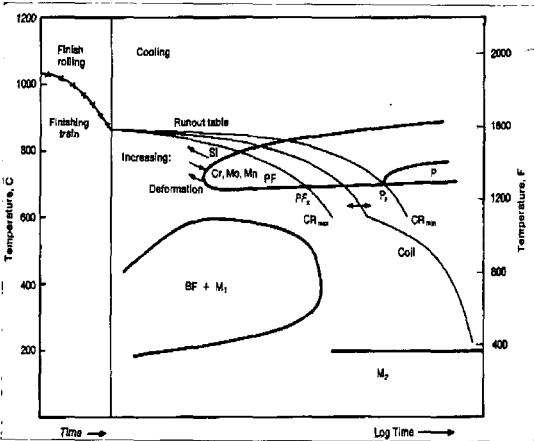


Fig. 3 압연조건 및 합금원소 첨가에 따른 CCT의 변화

특히 Deformation Band를 포함한 미재결정 Austenite는 Ferrite변태를 촉진시키기 때문에 통상압연에서는 Bainite조직을 나타내는 소입성이 높은 합금강을 대상으로 제어압연을 적용하게 되면 Ferrite변태를 가속화시킴으로서 Bainite발생을 억제하는 조직제어가 가능하게 된다.

## 3. Process설비기반 구축

### 3.1 선재공장 현황

당사 선재공장은 Laying Head로 권취하는 13mm  $\phi$  이하의 소경선재를 생산하는 Wire Rod Line과 14~42mm  $\phi$  를 생산하기 위해 Pouring Reeler로 권취하는 Garret Line으로 구성되어 있다. 압연기는 Vertical-Horizontal로 배열되어 있으면서 고속압연 및 표면품질에 유리한 Oval-Round공형으로 선재제품을 생산하고 있다. 설비적으로는 가동이래 Size정밀도에 대한 고객사의 Needs에 대응하기 위해 독일 KOCKS사에서 도입한 3Roll Sizing Mill을 추가로 설치하였고 최근에는 고기능 및 열처리생략강에 대한 고객사의 개발Needs에 부응하기 위해 합리화 공사를 거쳐 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 최종 마무리 압연온도를 제어할수 있도록 3Roll Sizing Mill전단에 Loop Cooling system과 냉각속도의 제어능력을 증대시키기 위해 Slow Cooling Cover를 추가로 설치함으로써 고기능의 신제품 개발을 위한 Process를 구축 완료 하였다.

본 논문은 제어압연 및 냉각을 실현하기 위해 기술적 배경에 대한 조사와 새롭게 구축한 Process를 기반으로 하여 저합금강에 대해 연화소둔 생략강을 개발하기 까지의 선재압연 및 냉각 부분 개선실적과 고객사 적용결과를 토대로 개발한 기술을 요지로 한다.

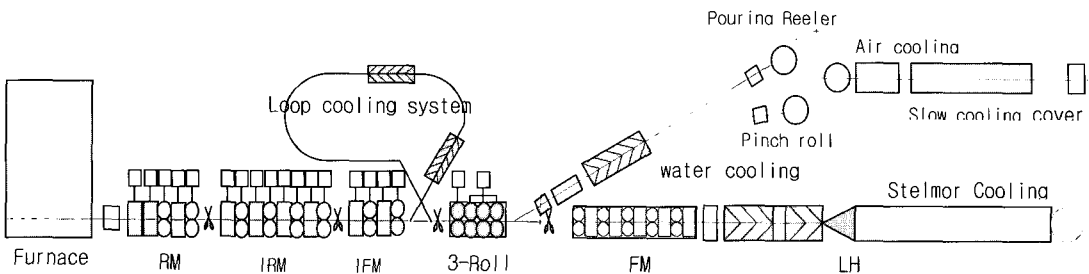
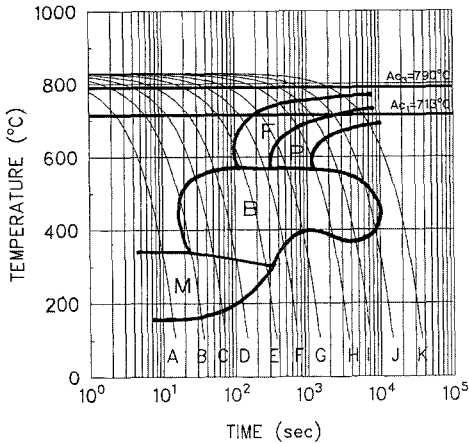


Fig. 4 선재공장 설비Lay-Out

Table 1 JS-SCM435강의 성분

구분	C	Si	Mn	Cr	Mo
JS-SCM435	0.33-0.38	0.15-0.30	0.60-0.85	0.90-1.20	0.15-0.30



Curve	°C/s	경도(Hv)
A	50	588
B	20	576
C	10	560
D	5	466
E	2	326
F	1	305
G	0.5	283
H	0.2	243
I	0.1	204
J	0.05	200
K	0.02	186

Fig. 5 JS-SCM435강의 CCT 및 냉각속도별 재질특성

### 3.2 JS-SCM435 재질특성

Bolt, Nut 등 자동차부품 및 건설기계부품에 널리 사용되는 냉간압조용으로 사용되는 선재중 10T 급으로 사용되고 있는 대표적인 규격인 JS-SCM435 강은 Table 1과 같은 성분으로 이루어져 있다. 주요 성분에서 알수 있듯이 소입성이 큰 Cr, Mo 등의 합금원소를 다량 포함하고 있기 때문에 Fig. 5에 나타난 바와 같이 Ferrite변태가 개시되는 CCT도의 Noze부가 상당히 뒤로 밀려 있어 저온조직의 발생 위험성이 상당히 큰 것을 알 수가 있고 실질

적으로 기존의 압연공정에서는 조직전체가 Bainite와 일부Martensite로 구성이 되어 고객사 열처리는 물론 Up-Set시험 및 인장강도 측정시험에도 많은 애로점을 갖고 있었다.

CCT도와 경도값에서 알수 있듯이 통상의 압연조건에서 작업이 이루어질 경우 냉각속도가 0.2°C/s 이하가 되어야만 Bainite와 같은 저온조직이 발생하지 않고 Ferrite와 Pearlite로 구성된 연질조직을 확보할 수 있는 것으로 나타나 있다.

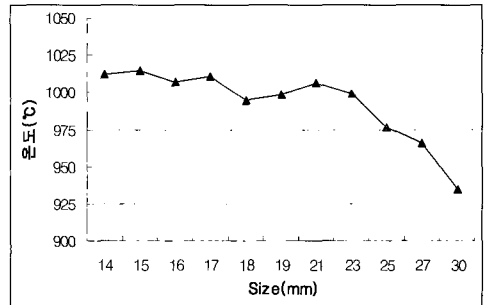


Fig. 6 압연Size별 마무리 압연온도 현황(통상제)

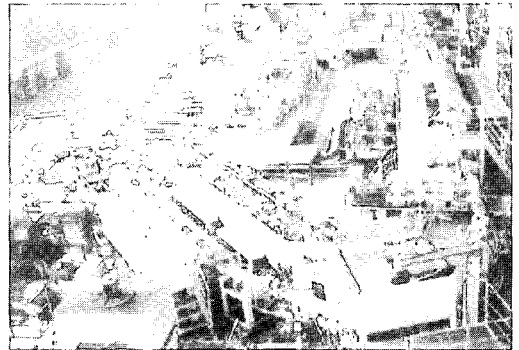


Fig. 7 선재 Loop cooling system

### 3.3 압연온도 제어

Fig. 6은 선재공장에서 생산하는 각 Size별 마무리 압연온도를 나타낸 그래프로 압연 Size가 증가할수록 압연온도가 하락하고 있는데 이는 적은 Size에 비해 상대적으로 마무리 압연기에 압연되기까지의 감면율이 적고 압연속도가 늦기 때문이다. 그래프에서 알수 있듯이 통상의 압연조건에서는 압연온도가 높기 때문에 Fig. 2와 3에서 제시된 제어압연의 효과를 얻는 것은 불가능한 온도영역인 것으로 나타났다. 기존의 압연설비에서는 마무리 압연온도의 제어기능을 할 수 있는 냉각 Zone이 미구축되어 있기 때문에 마무리 압연온도는

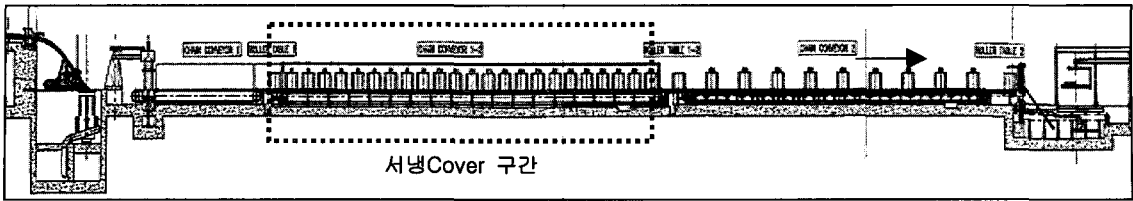


Fig. 8 Slow Cooling Cover

통상적으로 가공발열에 의존하여 추출온도와 유사한 정도로 상승함에 따라 재질제어가 현실적으로 불가능 하였다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 Fig. 7과 같이 마무리압연온도 제어할 수 있도록 마무리 압연기 전단에 Loop Cooling System 을 설치하여 압연소재를 냉각하고 압연재의 내부부간의 온도편차가 발생하지 않도록 수냉후 완전한 복열을 위해 수냉Box와 복열구간으로 구성되어 있는 Line을 설치하여 제어압연을 실현할 수 있도록 기반을 구축하였다.

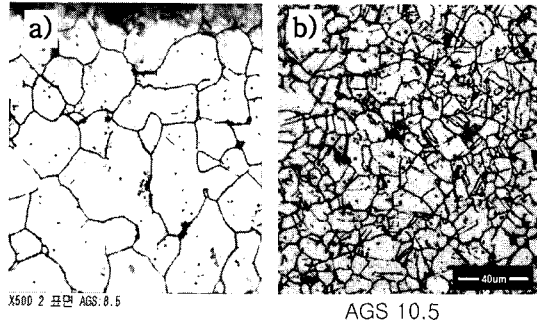
### 3.4 냉각속도 제어

Fig. 5에서 알 수 있듯이 JS-SCM435에서 Bainite 등 저온 경조직이 발생하지 않는 연질의 Ferrite와 Pearlite로 된 조직을 확보하기 위해서는 임계 냉각속도를 0.2℃/s이하가 되도록 해야만 가능한 것으로 나타나고 있다. 통상의 대기중 냉각속도는 1℃/s를 초과하기 때문에 제어압연을 거친 소재라 할지라도 저온조직의 발생을 방지하는 것은 현실적으로 불가능하다는 것을 의미한다. 해외 선재공장의 경우 서냉능력을 확보하기 위해 냉각구간에 Heating장치등 열원을 추가로 투입하여 서냉능력을 확보하고 있지만 당사 선재공장에서는 추가적인 가열이 없이 열간압연재의 현열을 최대한 활용하기 위해 Fig. 8과 같이 터널형의 커버장치를 설치하여 열간압연된 제품을 일정한 Pitch로 연속 통과시켜 Cover내부의 온도를 상승시킴과 동시에 국부적인 온도편차 발생방지 및 서냉효과 증대를 위해 커버내부에서 고온공기가 순환될 수 있도록 순환Fan을 설치하여 경제적으로 서냉능력을 확보하도록 하였다.

## 4. Process적용 결과

### 4.1 압연온도에 따른 조직비교

Fig. 9는 Billet를 1000℃로 가열한 다음 제품 Size 16mm로 열간압연된 직후 열간압연재를 수냉



구 분	마무리 압연온도	AGS(ASTM NO.)	평균입도	변형조직
통상재	1020℃	8.5	18.9μm	없음
제어압연	820℃	10.5	9.4μm	발생

Fig. 9 압연온도에 따른 AGS차이 비교(a.통상재, b.제어압연재)

을 했을때의 AGS조직을 촬영한 것으로 압연작업을 마무리압연기에서 감면율 31%, 압연Speed를 11.5 m/s로 동일하게 하고 마무리 압연온도 만을 달리 했을때 압연조직의 변화를 비교하였다. 통상재의 경우 압연온도가 높기 때문에 압연이후 회복과정을 거치면서 결정립이 성장하여 안정된 조직으로 변화되어 있는 반면 압연온도를 낮게 한 압연재의 경우 결정립이 미세할 뿐만 아니라 회복과정이 지연됨에 따라 결정립 내부에도 변형에 의한 변형띠가 상당부분 존재하는 것으로 확인되었다.

### 4.2 서냉Cover내 냉각속도 측정

Fig. 10은 압연종료후 Slow Cooling Cover내부에서 냉각온도이력을 분석하기 위해 Thermo - Video를 이용 측정한 것으로 Cover를 통과한 시점에서의 온도가 500℃부근으로 유지되어 추가적인 열원을 투입하지 않고 열간압연재의 현열만을 활용할 경우 평균 냉각속도는 0.12℃/s정도인 것으로 나타났다. 냉각속도 0.12℃/s는 Fig. 5의 CCT도에서 H ~ I사이의 냉각이력을 갖는 것으로 CCT도에서 알 수 있듯이 서냉Cover를 통과하게 되면

JS-SCM435규격에서 저온조직이 전혀 발생하지 않는 연질화된 조직을 확보할 수 있는 수준의 냉각 속도로 평가되었다.

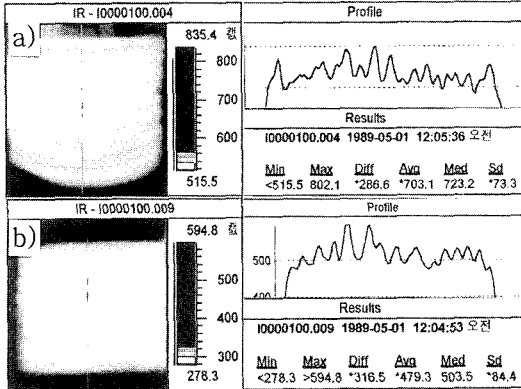


Fig. 10 Slow Cooling Cover 통과전후 온도이력(a. Cover입측, b. Cover출측)

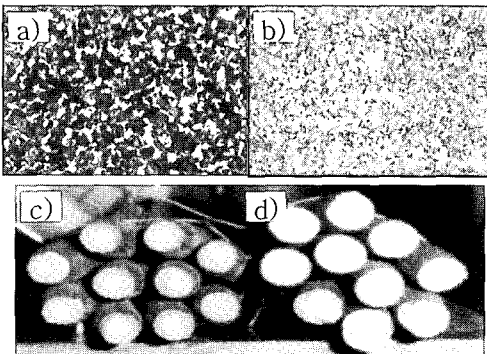


Fig. 11 제어압연재와 통상재 재질비교(a,c:제어압연재, b,d:통상재)

### 4.3 압연제품 품질평가

Fig. 11은 압연조건에 따른 JS-SCM435재의 인장시편 조직과 파단면을 비교한 것으로 제어압연재의 경우 조직이 연질의 Ferrite와 Pearlite로 구성되어 있음에 따라 인장강도가 68~73kg/mm<sup>2</sup> 및 단면감소율이 45%를 초과하는 것으로 평가되어 통상적으로 고객사에서 LA열처리를 생략할 수 있는 임계 인장강도 수준인 80kg/mm<sup>2</sup>보다 낮고 열처리후에 실시하는 인발작업의 감면율인 30%보다 높은 양호한 실적을 나타내어 LA열처리를 충분히 생략할 수 있는 것으로 평가되었다. 반면 통상재에서는 Ba-nite가 기본조직으로 구성되어 인장강도가 95~105kg/mm<sup>2</sup>로 열처리후의 인장강도 75kg/mm<sup>2</sup>수준보다 높고 단면감소율도 5%미만으로 가공의 필수조건인 소성변형이 거의 일어나지 않아열처리를 필연적으

로 적용해야만 가공이 가능한 것으로 평가 되었다. 또한 최종제품 냉간성형성 확보를 위해 실시하는 최종 열처리인 구상화열처리후의 구상화율에서도 연화소둔 열처리를 생략한 제어압연재와 연화소둔 열처리재를 비교한 결과 구상화율이 80%이상으로 동등이상의 품질을 확보함에 따라 연화소둔 열처리 생략재를 투입하여도 전혀 문제가 없는것으로 나타났다.

## 5. 결론

냉간압조용재로 사용되는 합금강인 JS-SCM435강을 대상으로 압연 및 냉각공정의 Process 제어를 통해 LA 열처리 생략강의 개발을 추진한 결과 기존의 열처리강과 동등한 품질의 제품을 On-Line 상에서 생산이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 통상의 압연조건에서는 압연온도가 높기 때문에 압연기를 통과한 직후에 완전한 회복이 이루어지는 반면 압연온도를 800℃전후로 제어를 하면 재결정이 지연됨으로써 변형조직이 Coil 냉각시점까지 잔존하는 것으로 나타났으며 냉각중에 추가적인 열원이 없이도 열간압연재의 현열을 최대한 활용할 경우 0.1℃정도의 냉각속도를 확보할수 있는 것으로 평가되었다. 이에 따라 통상 일본 Mill 에서 추가적인 열원을 공급하여 냉각능력을 확보할 때 나타나는 조직조대화로 이후 공정에서 실시되는 구상화열처리성이 나빠지는 문제점이 없는 미세한 조직의 열처리 생략강을 개발함으로써 보다 높은 경쟁력을 가질수 있게 되었다. 아울러 제어압연기술을 냉간압조용에 사용되는 중탄소강에 적용한 결과 구상화 열처리시간을 5Hr 이상 단축할 수 있는 것도 실적용을 통해 확인함으로써 향후 열처리생략 및 단축강의 추가 개발을 위한 기반기술을 구축하였다.

## 참고 문헌

- (1) J.J Jonas McGill University Presentation report.
- (2) 최중교,배철민의, 1991, CHQ합금강 선재의 균질구상화를 위한 조직제어기술 p. 80.
- (3) 田中智夫 : 제어압연 강물의 기초와 전개, 철강기초 공동연구회 고온변형부회 p.23.
- (4) 철강기초공동연구회 고온변형부회: 제어압연 기술의 기초와 그 전개, 일본철강협회.
- (5) T.Tanaka International Metals Reviews No4. 제어압연, 제어냉각.
- (6) 小指君夫 제어압연, 제어냉각 일본철강협회 p. 18.