

<기조강연>

**철강 압연제품의 제조기술 및 응용**

**권오준**

포항종합제철주식회사 기술연구소

**Manufacturing Technologies and  
Applications of Steel Strip Products**

**Ohjoon Kwon**

**Technical Research Laboratories, POSCO  
Kwangyang, Korea 545-090**

**Abstract**

Recent progress in manufacture of hot and cold rolled steel strip products and their applications were reviewed. The main trend in the technological developments has been to meet the customers' requests for quality improvement and cost reduction. The weight reduction to reduce the fuel consumption is the main issue in the automotive industry and, therefore, various steels have been developed to improve formability as well as strength. The steels include super-EDDQ steels, bainitic steels, TRIP steels, etc. In the oil industry, efforts have been focused to improve strength together with either low temperature toughness or HIC/SSCC resistance. The packaging industry is also a highly competitive market, and steel and canmaking companies have worked cooperatively to develop cost-effective canmaking processes as well as high performance steels. This type of cooperation has also been found important in other industries such as the appliance and electronic industries for the benefits of both steelmakers and customers.

**Key words:** steel strip, high strength, formability, automotive, linepipe, can, enameling steel, shadow mask, inner shield

---

**1. 서론**

좀더 나은 품질의 제품을 보다 값싸게 얻고자 하는 고객들의 욕구를 만족시켜주기 위하여 철강제조기술은 지난 30년 간 비약적인 발전을 이룩해 왔다. 그 결과 철강시장에는 여러 가지 신제품이 생산되어 기존의 제품을 대신하게 되었다. 자동차를 예를 들어본다면 현재 차체제조에 사용되고 있는 철강재의 거의 대부분이 최근 20년간에 개발된 신강종으로 구성되어 있다. 흔히들 철강재는 구소재라는 인식이 있었는데 자동차의 예는 전혀 그 반대임을 보여 주고 있다. 신철강제품 개발은 자동차산업의 경쟁력 강화 및 환경보호에도 크게 기여를 해 왔다고 평가할 수 있는데, 이러한 경향은 비단 자동차산업 뿐만 아니라 팩키징, 가전, 가구 등의 경우도 마찬가지이다. 신철강제품이 기술적인 측면에서 유관분야에 미치는 영향이나 철강산업의 국가경제 측면에서의 공헌도를 볼 때 철강재료는 산업 발전에 기초가 되는 영원한 신소재라고 부를 수 있을 것이다.

그 동안에 실용화된 주요 기술을 살펴보면 2차정련기술, 연속주조기술, 가공열처리기술, 연속 소둔기술 등이 있다. 품질을 향상시킨다는 관점에서 보면 제강에서의 RH Degassing, Ca 처리, Ladle Furnace 정련 등 각종 2차정련기술의 개발과 압연공정에서의 Microalloying 및 제어압연/제어냉각 등의 다양한 가공열처리기술을 들 수 있다. 그리고 연속주조나 연속소둔기술의 개발은 공정생략 내지는 공정합체에 의해서 제품의 제조원가를 낮추는데 큰 공헌을 하였다고 볼 수 있다. 다양한 형태의 제조기술의 개발에 따라 철강제품도 다양하게 개발이 되어 여러 가지 용도로 활용되고 있다. IF(Interstitial Free)강은 대표적인 예가 될 수 있는데, 이 강은 RH Degasser에 의한 탈탄기술, 잔류탄소의 석출을 위한 Microalloying 기술 및 생산성이 높은 연속소둔기술이 결합함으로써 상업화가 가능하게 되었다. IF강의 출현은 냉연제품의 생산공정에 일대 혁신을 가져 와 종래에 상소둔에 의해서 생산되던 냉연제품들은 대부분 연속소둔공정에 의해 생산이 가능하게 되어 제조원가가 낮아졌을 뿐만 아니라 재질의 향상도 가능하게 되었다. 생산되는 제품은 자동차용, 펌프용, 범용용, 가전용 등의 분야에 광범위하게 적용되고 있다.

본 논문에서는 최근의 개발되고 있거나 실용화되어 있는 열간 및 냉간 압연강판의 제조기술을 국내상황을 중심으로 살펴보고 생산되는 제품의 특성을 활용분야 별로 정리해 보았다.

## 2. 자동차용 강판

IMF로 인해 생산량이 크게 감소한 바 있어 침체기를 겪은 국내 자동차 산업은 금년에는 빠른 속도로 수요가 회복되어 IMF 이전 수준으로 돌아갈 전망이다. IMF를 거치는 동안에 자동차 산업의 구도도 변화하여 아직도 구조조정 중에 있지만 4사 체제가 2사 체제로 개편되는 과정에 있어 새로운 도전을 맞고 있다. 사회적/기술적인 측면에서의 가장 큰 과제는 경량화이다. 경량화를 위해 철강업체는 다양한 고장력강 및 고가공용강을 개발하고 있으며 이를 활용하는 가공기술들이 활발하게 개발되고 있다.

### 2.1 자동차용 열연강판

열연강판은 멤버 등 구조용 부품이나 바퀴소재로 많이 활용되는데, 미세조직에 따라 야금학적으로는 페라이트-퍼엠틀라이트강(F+P), 페라이트-베이나이트 복합조직강(F+B), 이상조직강(DP: Dual Phase), 베이나이트강(B), TRIP(Transformation Induced Plasticity)강 등으로 분류할 수 있다. F+P강은 통상의 열연냉각에 의해 생산되는 인장강도 590MPa 이하의 강으로, 고용강화형(SS)의 경우 Si 및 Mn을 첨가하고 석출경화형(PH)의 경우 Nb, Ti 및 V를 첨가한다. DP강은 급랭, 극저온 권취에 의해 페라이트 기지에 마르텐사이트를 10-20% 형성시킨 강으로, 항복점연신 현상이 없고 항복비가 낮고 가공경화지수가 높아 연성이 우수한 특성을 갖지만 경도가 높은 마르텐사이트로 인해 신장프렌지 가공성이 좋지 못한 단점이 있다.<sup>1,2)</sup> 아울러 최근에는 DP강의 페라이트 조직을 TiC로 석출 강화시켜 피로특성을 향상시킨 새로운 형태의 DP강이 개발되고 있다.<sup>3,4)</sup> B강은 Cr, Mo 등의 합금처리를 한 다음 베이나이트 개시온도 이하의 저온에서 권취하여 기지조직을 침상페라이트+베이나이트 조직으로 제조한 강인데, 마르텐사이트와 같은 경질상이 없어 DP강 보다는 강도는 낮지만 신장프렌지 가공성이 우수한 특성이 있다.<sup>5,6)</sup> 합금성분과 냉각조건을 변형하여 제조한 페라이트-베이나이트강(F+B)<sup>7-10)</sup> 및 DP강 내의 마르텐사이트의 일부를 베이나이트로 대체한 3상 복합조직강(TP: Triphase)은 우수한 신장프렌지 가공성과 더불어 고강도를 갖는 것으로 보고되고 있다.<sup>11,12)</sup> TRIP강은 페라이트와 베이나이트 기지에 잔류 오스테나이트를 형성시킨 강인데, 프레스 가공시 잔류오스테나이트의 변태에 의해 극히 우수한 연신율을 보유하나 DP강과 마찬가지로 신장프렌지 가공성이 낮은 단점을 가지고 있다<sup>13-16)</sup>. Figure 1은 이상의 여러 가지 열연강판의 강도, 연신율 및 신장프렌지성(HER; Hole Expansion Ratio)을 상호 비교해서 보여준다.

자동차용 열연고장력강판의 국내 제조기술은 세계 최고 수준에는 아직 미치지 못하는 것으로

평가된다. DP강, F+B강, TP강, TRIP강 등의 변태강화형 열연강판은 높은 강도와 더불어 우수한 가공성을 갖고 있는데 이들 강을 제조하기 위해서는 다양한 형태의 냉각제어를 실시하지 않으면 안 된다. Figure 2는 변태강화형 강판을 생산하는데 적용되는 제어냉각패턴을 도식적으로 보여 주고 있다. 국내의 생산기술 수준은 냉각제어가 비교적 쉬운 F+B강 및 TP강의 생산은 가능한 정도이나 DP강이나 TRIP강의 대량생산은 여의치 못한 실정이다. 이는 열연코일 생산 시 시시각각으로 변하는 통판속도, 온도, 변태 등을 감안한 냉각제어를 통해 전 길이에 걸쳐서 균일한 조직을 얻는 것이 어렵기 때문이다. 하지만 최근에 정밀 냉각제어를 위한 off-line cooling simulator가 개발되어 현장적용이 시도되고 있어 조만간에 TRIP강의 상용화가 이루어 질 전망이다.

종래의 변태강화 고장력 열연강판의 성질을 대폭 향상시킨 신 열연강판의 개발이 최근에 발표된 바 있다.<sup>17)</sup> 가칭 'Super HSLA'이라고 하는 이 강판은 카와사키제철(KSC)의 지바 3열연의 연속압연설비를 이용하여 생산하는 것으로, 페라이트 평균 결정립을 종래의 5 $\mu$ m에서 2 $\mu$ m 이하로 균일 미세화함으로써 연성을 30% 이상, 프렌지 가공성을 30% 이상, 충격에너지를 10% 이상 향상시켰다고 보고하고 있다.

## 2.2 자동차용 냉연강판

**가공성 연질 냉연강판:** 최근 자동차용 냉연강판의 개발은 크게 제조원가절감과 차체경량화의 측면에서 이루어지고 있다. 강판의 가공성이 우수하면 프레스 성형시 가공불량을 감소시키고 일체화 성형을 통하여 제조원가의 절감이 가능하기 때문에<sup>18,19)</sup> 연질 냉연강판의 가공성을 극대화시키기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있는데, Figure 3은 현재 생산 또는 개발되고 있는 가공성 연질 냉연강판의 종류를 연성 및 Lankford Value(r값) 좌표계에서 보여주고 있다. CQ재는 통상적으로 저탄소 냉연강판을 연속소둔하여 제조하지만, 시효보증이 요구되는 경우에는 일부 상소둔에 의해 제조하는 후물재나 광폭재를 제외하고는 대부분

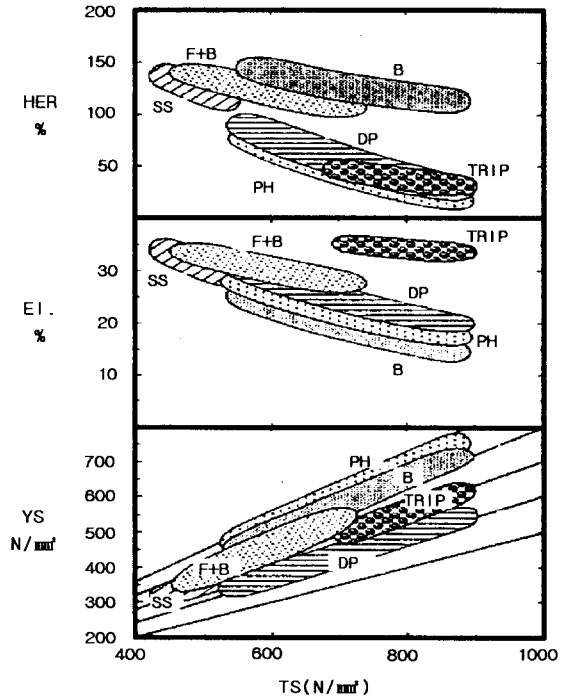


Figure 1. Comparison of mechanical properties of various high strength hot strips for automotive application.

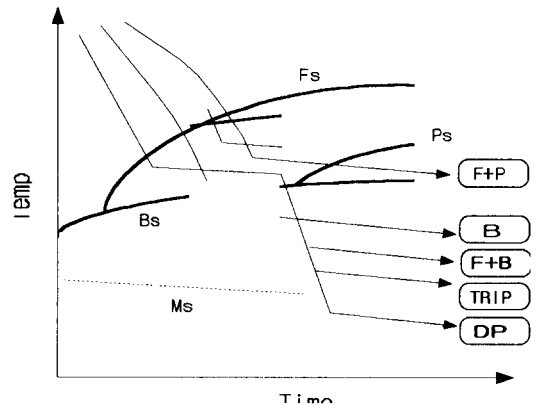


Figure 2. Cooling cycles at the runout table for manufacture of high strength hot strips with various microstructure.

분 Semi극저탄소 IF강을 연속소둔하여 제조한다. DQ재나 DDQ재는 Al-killed 저탄소강을 상소둔하여 제조하는 후물재를 제외하고는 극저탄소 IF강을 연속소둔하여 제조한다. 그리고 EDDQ 이상의 초심가공성 연철 냉연강판은 가공성을 향상시키기 위해 {111} 집합조직의 균일한 발달이 중요하며, 이를 위해서는 강중의 불순물 및 개재물 제어와 더불어 압연 및 소둔조건을 적절하게 제어해야 한다. 특히 침입형 원소인 탄소 및 질소가 기지조직 내에 용해되어 있으면 {111} 재결정 집합조직의 형성을 감소시키기 때문에, Ti 이나 Nb을 탄소나 질소의 당량이상 첨가한 IF강을 연속소둔에서 고온소둔을 실시하는 것이 최근의 기술 동향이다.

초심가공 연철 냉연강판의 국내 제조기술 수준은 일본과 거의 비슷한 수준으로 S-EDDQ (Super-EDDQ)강까지의 상업화는 완료되었으나 H-EDDQ(Hyper-EDDQ)강의 경우는 실험실적인 개발만 해 놓은 상태이다. Table 1은 국내에서 개발된 S-EDDQ강의 성분, 압연 및 소둔조건과 더불어 재질을 보여주고 있다. 이 강은 기존의 EDDQ재의 제조조건 제어를 극한화한 것으로, Mn 함량을 0.1% 이하, C+S+P+N 량을 150ppm 이하로 강을 청정화하고 냉연 및 소둔조건을 최적화하여 제조되고 있다. H-EDDQ재는 강의 청정도를 더욱 높이고 S-EDDQ재의 제조조건 제어를 더욱 극한화하는 방향으로 개발이 진행되고 있으나, KSC는 이와는 별도로 종래의 열간압연 방식과는 다른 방식을 이용하여 H-EDDQ개발을 개발한 바 있다.<sup>20)</sup> 통상적으로는 오스테나이트 고온역에서 열간압연을 마무리하고 권취하여 냉연을 하지만 KSC는 저온 페라이트역에서 고온할 열간압연을 하고 재결정 상소둔처리를 한 다음 냉연을 함으로써 강판의 {111} 집합조직 발달을 극대화하여 r값 2.9 이상의 H-EDDQ를 제조하였다.

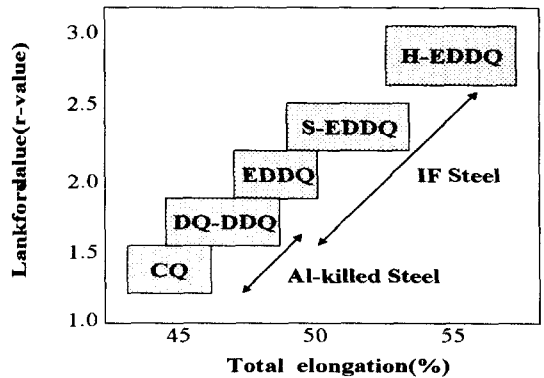


Figure 3. Formability of various cold strips.

Table 1. Composition, processing condition and properties of S-EDDQ steels.

화학적 성분 (%)						열연조건 (°C)		소둔 온도 (°C)	YS (Kg/mm <sup>2</sup> )	AS (Kg/mm <sup>2</sup> )	EI (%)	r 값
C	Mn	P	S	N	Ti	FT	CT					
0.0018	0.07	0.006	0.005	0.0017	0.072	920	620	860	13.5	27.5	51	2.45

**고가공성 고장력 냉연강판:** 차체 경량화를 위해 Al, Mg, 플라스틱, 복합소재 등 경합재료의 사용량 증가하는데 대응하여 개발된 고가공성 고장력 냉연강판의 인장강도의 범위는 340-590MPa로 등급에 따라 다양한 가공성을 갖는다. 340-440MPa급 고가공성 고장력 냉연강판은 강도와 가공성 (연신율 및 r값)을 동시에 확보하기 위해서 종래의 P첨가 저탄소강을 상소둔하는 방식에서 최근에는 가공성이 우수한 IF강에 P, Mn 등 고용강화 원소를 첨가하는 방식으로 급속히 바뀌고 있다. 외판용의 경우 내Dent성 확보를 위하여 BH(Bake Hardening)강이 개발, 적용되고 있다.<sup>21)</sup> BH강은 도장후 Baking 시에 일어나는 용질탄소와 전위의 상호작용에 의해 항복강도가 증가하는 특징을 이용한 강으로, 프레스 가공시에는 강도가 낮고 가공성이 높아 향후에는 외판 뿐만 아니라 내판에도 광범위하게 사용될 전망이다.

DDQ급 이상의 가공성이 요구되는 부품의 경우 기존 냉연강판의 가공성이 낮아 경량화를 이루기 어려웠는데 최근에 r값을 대폭 상향한 340-390MPa급 고장력 냉연강판이 개발되어 적용이 시도되고 있다. 한편 490-590MPa급은 P, Mn 등 고용강화 만으로는 강도 확보가 어렵기 때문에 변태강

하나 Cu의 석출강화를 이용하여 제조되고 있으나 제조비용이 높고 재질안정성 측면에서 범용화 되지 못하고 있다. 이와는 달리 최근에는 Member류에 적용되는 590MPa급의 경우 연성개선과 내충격성 향상을 위하여 저탄소강에 Si를 다량 첨가하여 개발된 잔류 오스테나이트를 함유한 TRIP강이 주목을 받고 있다. Table 2는 이들 강종의 성분과 재질을 비교하여 나타낸 것인데, 440MPa-E급과 590MPa-Tr(TRIP강)은 국내 제조실적이고 490MPa-E급은 실험실 데이터이며 540, 590MPa-E급은 타사의 제조 예를 나타내었다.<sup>22,23)</sup> 이들 냉연강판의 국내 제조기술은 일본과 거의 비슷한 수준이며 340S재나 390S재와 같은 일부 강종의 경우 국내의 개발진행이 일본보다 앞서고 있다.

Table 2. Composition and tensile properties of high strength cold strips with excellent formability.

구분	화학성분(%)						YS (Kg/mm <sup>2</sup> )	TS (Kg/mm <sup>2</sup> )	EI (%)	r값	BH (Kg/mm <sup>2</sup> )
	C	Mn	Si	P	S	기타					
340MPa-E	0.004	0.58		0.04	0.008	Ti	22	37	42	1.9	
340MPa-S	0.002	0.75		0.05	0.005	Ti, Nb	23	36	41	2.3	
340MPa-BH	0.003	0.25		0.07	0.007	Ti	21	35	39	1.8	3.9
370MPa-E	0.004	0.41		0.09	0.010	Ti	22	38	41	1.8	
390MPa-E	0.004	0.70		0.09	0.008	Ti, B	24	41	38	1.9	
390MPa-BH	0.003	0.90		0.10	0.005	Ti, Nb	25	41	37	2.1	3.2
440MPa-E	0.004	1.20		0.10	0.008	Ti, B	27	45	33	1.6	
490MPa-E	0.004	1.50	0.5	0.10	0.010	Ti, B	38	52	31	1.7	
540MPa-E	0.0025	0.27	0.16	0.001		Ti, Nb, Cu, Ni	45.2	56.5	27.0	2.19	
590MPa-E	0.0043	0.25	0.01	0.014		Ti, Cu, Ni	51.7	62.2	24.4	1.9	
590MPa-Tr	0.08	1.50	1.0	0.08	0.015		41	62	35	1.05	

**초고강도 냉연강판:** 초고강도 냉연강판의 인장강도는 780MPa 이상으로 주로 범퍼나 보강빔으로 사용되고 있다. Roll Forming에 의한 단순굽힘용 부품을 제조하는 데는 가공경화를 이용한 회복소둔형<sup>24)</sup>이 사용되는데 가공성은 낮은 편이다. 부품의 형상이 복잡해 프레스 가공을 필요로 하는 부품에는 가공성이 우수한 초고강도강이 요구되고 있는데, 이러한 강으로는 변태강화 원리를 활용한 TRIP강이나 DP강이 개발되었다. 한편 1180MPa이상의 강도와 가공성이 요구되는 경우 590MPa급 강종에 B를 다량 첨가하여 만든 냉간압연판을 850℃ 이상의 온도에서 고온가공후 급랭하는 Press Hardening 공정도 개발되어 적용되고 있다. Table 3은 전형적인 초고강도 냉연강판의 성분과 재질을 보여주고 있다.<sup>24-27)</sup>

TRIP강은 이제까지 개발된 고장력강 중에서 강도×연성 값이 가장 높은 것으로 알려져 있어 향후 많은 활용이 기대되는데, Figure 4는 TRIP강을 생산하기 위해 적용되는 연속소둔공정 열사이클을 나타낸 것이다. 초기 가열은 오스테나이트+페라이트 2상역에서 행하여 오스테나이트내의 탄소함량을 어느정도 증가시킨다. 냉각 중에는 페라이트가 일부 생성되어 오스테나이트 내에 추가적인 탄소함량 증가가 있게 된다. 이 오스테나이트를 베이나이트역에서 변태시켜 시멘타이트의 석출을 억제하면 오스테나이트 내의 탄소함량은 더욱 증가하여 마르텐

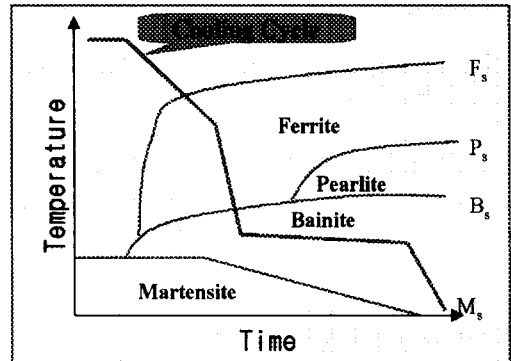


Figure 4. Typical thermal cycle for production of TRIP steels at CAL.

사이트변태 시작온도가 상온 이하로 내려기 때문에 냉각 후 미변태 오스테나이트는 잔류하게 된다. 이렇게 제조된 TRIP강은 강도대비 연성이 매우 우수해 인장강도가 980MPa 정도인 경우 연신율이 30% 이상을 얻을 수 있다. 그러나 980MPa 이상의 초고장력 TRIP강은 탄소 및 Si 함유량이 많아 용접성이 떨어지기 때문에 부품의 조립을 위해서 레이저 등을 이용한 특수용접기술을 적용하거나 접합 등의 방식이 요구되고 있으며, 용융도금제품으로 생산하기에 어려운 단점도 있다.

Table 3. Composition and tensile properties of ultra-high strength cold rolled steels.

구분	화학성분(%)					YS (Kg/mm <sup>2</sup> )	TS (Kg/mm <sup>2</sup> )	EI (%)	비고	Ref
	C	Si	Mn	P	기타					
회복소둔강	0.09	0.50	1.50	0.019	0.055Nb	82	84	12	'92, 상소둔	
	0.09	0.84	2.10		0.082Ti	77	101	12	NSC	24
DP강 (F+M+A)	0.15	1.01	1.89			38	82	22	'88	
	0.08	1.10	1.85	0.10		43	83	24	KSC	25
	0.08	0.20	3.00	0.03		67	110	13	KSC	25
베이나이트강 (F+B)	0.17	0.48	2.24		Mo, Nb	64	106	16	'94	
	0.14	0.58	2.23		0.05Ti	70	100	16	NSC	26
TRIP강 (F+B+M+A)	0.14	1.45	1.47		Mo	42	84	27	'93	
	0.16	0.53	2.00		Mo, Nb	46	84	21	'98	
	0.22	1.36	2.22			61	105	22	NSC	26
	0.15	1.52	2.03	0.014		61	105	18	KOBE	27
후열처리강	0.20- 0.25	0.20- 0.35	1.0- 1.3		Cr, B	100-120	150	10	개발중	

### 3. 석유수송용 강판

원유 및 천연가스 수송용 파이프라인은 파이프 소재로 고강도강을 사용함으로써 파이프 직경과 압력을 증가시켜 수송효율을 크게 증가시킬 수 있다. 따라서, 라인파이프강은 높은 강도, 우수한 용접성과 함께 저온인성 또는 수소유기균열(HIC: Hydrogen Induced Cracking)이나 유화물용력부식균열에 대한 높은 저항성이 요구된다. 이는 근래들어 석유자원이 고갈됨에 따라 극한지나 sour 분위기의 유전이 증가하기 때문이다. 1960년대 이전의 고장력 라인파이프강은 주로 0.2% 이상의 중탄소강을 Normalizing 처리를 하여 생산하였다. 그런데, '60년대 들어 Microalloying기술이 개발됨에 따라 저탄소강이 고강도강(주로 API X52) 생산에 이용되었고, '70년대 이후로는 제어압연, 제어냉각 등의 가공열처리기술이 개발되어 지속적으로 탄소함량이 감소되면서 고강도화가 진행되었다.<sup>28)</sup> 최근에 개발된 API X80 또는 X100강의 탄소함량은 매우 낮아 0.02-0.08% 범위에 있는데,<sup>29,30)</sup> 이러한 탄소의 감소는 용접성 및 저온인성을 향상시키나 강도를 저하시키기 때문에 가공열처리기술을 적용하여 결정립을 미세화하던가, 미세한 석출물을 형성하던가, 아니면 저온변태조직을 형성시킬 필요가 있다. 가까운 장래에는 X120급 강재도 개발될 것으로 예견이 되는데, 이를 위해서 TRIP 현상을 활용하는 방안이 석유 메이저간에 검토되고 있다.<sup>31)</sup>

파이프라인 설계 관점에서 볼 때 강재의 파괴인성이나 내식성의 확보는 중요한 과제이다. 결정립미세화는 강도와 더불어 파괴인성을 향상시키는 유일한 강화방법으로 라인파이프강 제조에 널리 활용되고 있다. Figure 5는 최근 개발된 고인성/고장력 라인파이프강의 결정립 크기와 인장성질을 보여주고 있는데, 강도의 증가와 함께 결정립 미세화가 이루어져 X100강의 경우는 결정립 크기가 3-4 $\mu$ m 정도이다. 파괴인성의 평가는 Crack Initiation 및 Propagation으로 나누어 생각할 수 있다. Crack Initiation에 대한 저항성을 평가하는데는 종래의 Charpy Test 또는 DWTT 방법이 유효하였으나 Crack Propagation의 관점에서는 종래의 평가에 문제가 있음을 인식하게 되었다.<sup>30)</sup> 특히 60년대 말에 미국에서 일어난 대규모/고속 연성파괴에 의한 사고로 기존의 인성평가법에 대

한 재정비가 이루어져 이러한 대규모/고속 연성파괴를 방지하기 위해서는 연성-취성 천이온도에 대한 규제 뿐만 아니라 Charpy 값에 최저값을 정의하지 않으면 안된다는 것을 발견하였고, 이에 따라 제강공정에서 대규모 탈황처리를 필요로 하게 되었다.<sup>32)</sup>

내식성은 내부부식과 외부부식으로 나누어 생각할 수 있다. 내부부식은 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>S에 의한 일반부식 및 Stepwise Cracking (HIC)이고, 외부부식은 응력이 가해진 상태에서 일어나는 SSCC 현상이다. 내 HIC성을 증가시키기 위해서는 비금속개재물과 편석을 줄이고 개재물 형상제어를 해야 하며 탄소의 함량이 낮추는 것이 좋다. 내 SSCC성은 일반적으로 내 HIC성의 향상 방안에 의해서 향상되는데, 추가적으로는 용접 열영향부의 정도를 일정값(248 Hv) 이하로 제어하는 것이 중요하고 표면을 grit blasting에 의해 경화처리하는 것도 유효하다.<sup>30)</sup>

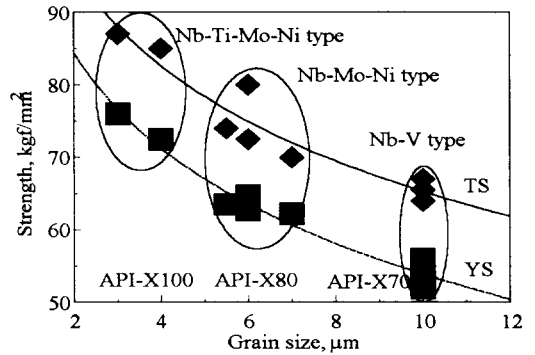


Figure 5. Strength and grain size of high strength arctic linepipe steels.

라인파이프강의 공급은 보통 프로젝트 베이스로 결정이 되는데 POSCO의 경우 최근까지만 일반강의 공급에 바빠 생산의 여유가 없어서 라인파이프강을 많이 공급을 하지 못하였다. 그런데, IMF를 겪으면서 판매정책이 고부가가치강 쪽으로 수정되면서 공급량이 늘고 있지만, 국내 제조기술 수준은 세계 일류기술에 비해 격차를 보이고 있다. 한냉지용 라인파이프 강재의 경우는 그 재질이 가공열처리기술에 주로 의존하는데 국내에 설비와 요소기술을 확보하고 있어 개발이 크게 되지 않아 X100급까지의 제조조건도 정해져 있다. 그러나, 내 HIC/SSCC용 강재의 경우는 극저량의 유황(<10ppm)이나 인(<100ppm)의 함유를 요구하고 중심편석 제어가 요구되어 제강정련 및 연주기술이 중요한데 아직 품질조건을 모두 만족시켜 줄 만큼의 설비나 요소기술을 완벽하게 갖추고 있지는 못한 실정이다.

#### 4. 용기용 강판

용기용으로 쓰이는 BP(Black Plate)재는 '95년의 경우 세계적으로 1,680만톤이 생산되어 전체 철강제품의 23%나 되는 큰 시장을 형성하고 있고, Al, 유리, 플라스틱 또는 종이와 시장쟁탈을 위해 치열한 경쟁을 벌리고 있는 제품이기도 하다. 그러므로 용기(스틸캔)의 제조원가를 낮추기 위한 경량화/박육화 기술과 이를 위한 소재의 고강도화 및 캔 가공기술의 개발이 BP재 제조기술에서의 관심사이다. 스틸캔의 제조공정을 보면 1960년대까지는 3피스 캔 제조공정 주류를 이루고 있었는데 70년대 초반에 제조원가가 저렴한 2피스 캔의 대량 생산체제가 확립되면서 D&I(Drawing & Ironing)공정의 요소기술의 개발이 진행되었다. 최근에는 환경친화형 캔 제조공정인 DTR(Drawing & Thin Redrawing)기술과 Laminated 강판이 개발되고 있다.

BP재는 경도에 따라 T1에서 T6까지 있는데, 종래에는 저탄소강을 이용하여 경질재는 연속소둔으로 연질재는 상소둔으로 생산해 왔다. 그런데 제강 정련기술의 발달로 극저탄소강이 경제적으로 생산됨에 따라 연질재의 연속소둔기술이 개발되어 제조원가를 낮추었다. 연속소둔재의 생산에 따른 문제점의 하나는 고용탄소의 시효에 의한 Fluting, Stretcher Strain 등의 표면결함 발생인데, 이 문제는 Cr, B 등에 의한 합금처리나 R-OA와 같은 냉각제어기술에 의해 감소 또는 제거할 수 있다. 강종단순화에 통해 제조원가를 줄이기 위해 All Temper BP재 생산기술도 개발된 바 있는데, 이는 한가지 성분으로 소둔조건과 Temper Rolling량을 변화하여 모든 경도의 제품을 제조

하는 것이다.

D&I용 BP재의 요구품질 특성은 고강도, 고가공성, 저평면이방성( $\Delta r$ ), 저시효성, 저두께편차, 높은 Flange Cracking 저항성, 도금균일성 등이 있다. 이상의 조건을 만족시켜주기 위해서 제강에서부터 도금까지 다양한 기술이 개발되었다. 특히 2차정련기술의 발달로 고청정강이 제조됨에 따라 가공성의 향상에 큰 기여를 하여 Necking Crack 발생이 현저히 줄었다. 경량화를 위해 고강도 D&I재를 사용하는 경우 고가공성은 필수적으로 요구된다. 고강도강을 이용한 최근에 얻어진 경량화 효과는 30% 정도나 되어 Al 캔과의 중량 격차가 점점 줄어들고 있다.<sup>33)</sup> 락카 큐어링 시에 일어나는 시효현상을 활용한 BH형 D&I 강판의 개발도 고강도화에 일조를 하였다. 현재 국내에서는 두께 0.245mm의 D&I재(T4)가 실용화되고 있는데 외국의 경우는 0.20mm D&I캔이 개발된 바 있어, 기술의 차이가 상당히 있는 편이다. 그러나 최근에 들어 Al과 steel의 가격차이가 커짐에 따라 국내 Al D&I 라인의 개조가 진행되고 있어 철강업계로는 다행한 실정이다. 가공기술 측면에서는 Al 뚜껑을 줄이기 위한 벙킹기술, Buckling 저항성을 향상시킬 수 있는 Bottom Profile 설계 기술, Crushing 저항성의 증가 및 외관의 미적효과를 위한 Shaped Can 제조기술이 중요하다.<sup>34)</sup>

2피스 캔으로 최근에 관심이 높아지고 있는 제품은 라미네이트강판이다. 이 강판은 DTR공정으로 캔을 생산하는데, D&I 캔이 성형후 수지를 입히는데 반해 DTR 캔은 수지를 입힌 강판을 이용해 캔을 제조한 것이 공정상의 차이이다. 따라서 DTR 캔은 제판사 설비가 환경친화적이고 설비투자비가 줄어드는 장점이 있어 보급이 확산되고 있다. 라미네이트강판의 캔은 일본에서 생산되는 HiPET형 TULC와<sup>35)</sup> 유럽에서 생산되는 Ferrolite형 RBS가 있는데,<sup>36)</sup> 아직은 D&I 캔에 비해 제조가격이 높고 무게도 무거우나 기술의 개발이 급속도로 진행되고 있어 향후 D&I 및 3피스 시장을 많이 잠식할 것으로 예상된다.

## 5. 범랑용 강판

범랑기술은 고대 이집트시대부터 장식용 등으로 활용되어 왔는데, 범랑강판으로 제조되어 용기 등으로 사용이 확대된 것은 19세기 중반 유럽에서 였다.<sup>37)</sup> 초기의 범랑강판은 림드강으로 제조되었으며 OCA(Open Coil Annealing)기술이 활용되었는데, 최근에 보다 경제적인 연속주조기술이 보급되면서 킬드강으로 RH 탈탄처리한 극저탄소강판이 많이 사용되고 있다. 범랑강판은 성질이 철과는 매우 다른 유리상태(Glass)의 무기질 범랑을 강판에 피막처리하여 제조한 것으로 용도는 주로 위생용기, 주방용품 및 건축외장재 등이므로 요구되는 성질이 매우 다양하여 우수한 성형가공성과 더불어 내 Fishscale성, 내 Warping성, 범랑밀착성이 요구된다.

범랑 코팅처리한 강판을 소성할 때 강중에 용해된 수소는 냉각시 강판/범랑층 계면에 기포를 형성하는데, 피막층이 압력을 이기지 못하면 수소는 범랑층을 파괴하는데 이를 Fishscale결함이라고 한다. Fishscale을 방지하기 위해서는 강판 내부에 기공, 개재물 및 대형 석출물 등의 수소 포집처를 많이 제공해 주는 것이다. 림드강은 산화물이 많기 때문에 효과적으로 수소를 포집하며, Ti 첨가강의 경우 산화물, 탄화물, 질화물 및 유화물을 이용하고, B첨가강의 경우 질화물을 이용하여 내Fishscale성을 향상시킬 수 있다. Yasuda 등에 의하면 Ti첨가 극저탄소강의 범랑밀착성을 최대로 해 주는 Ti 첨가량은 0.061%로 이는 산세 중에 생기는 Smut와 관계가 있다고 보고하고 있다.<sup>38)</sup> Warping은 고온 소성처리 시 강판의 상변태, Creep 및 강판과 코팅의 열팽창계수의 차이 등에 의한 소성변형이 발생 원인이다. Warping을 방지하기 위해서는 상변태 온도를 올려주는 것이 바람직스러운데, OCA처리나 RH처리를 통해 극저탄소화하는 것은 이를 위한 것이다. OCA처리한 림드강을 사용하는 경우에는 소성처리 시 결정립이 조대화하여 Sagging이 일어나는 경우도 있다. 범랑밀착성을 향상시키기 위해서는 유약코팅 전에 하는 산세처리 조건을 최적화할 필요가 있으며, 강판 표면의 Ni Deposition이나 Co 및 Ni Oxide가 첨가된 Ground Coating재의 사용도 도움이 된다.

범랑강판의 소성처리는 보통 Two-Coat/Two-Fire공정이 일반적이지만 One-Coat/One-Fire



(Direct-on) 또는 Two-Coat/One-Fire 공정이 채택되기도 한다. Direct-on공정은 직접법랑이라고도 하는데 수요가의 소성처리공정을 간소화시켜 주는 장점이 있기 때문에 고산소강, 극저탄소강 등의 강판이 개발되어 적용이 확대되고 있다.<sup>39)</sup> 그러나 직접법랑공정에는 산세처리가 필요해 환경측면에서 불리하고 흑점발생 등 외관 측면에서도 품질이 뒤떨어져 적용 확대를 위해서는 향후 제조공정에서의 요소기술의 개발이 필요하다. Table 4은 여러가지 법랑강판의 특성을 직접법랑성 까지 포함해서 상호 비교해서 보여주고 있다. OCA처리 림드강은 우수한 법랑 특성을 갖고 있으나 지금은 거의 생산되지 않고 있으며, 킬드강으로는 Ti-S강이나 Ti-N강이 무난하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

Table 4. Characteristics of various porcelain enameling steels.

Steel	내Fishscale성	밀착성	성형성	표면결함	내Warping성	직접법랑성
탈탄림드강 (OCA)	◎	◎	○	◎	○	◎
고산소강	○	◎	△	○	○	○
B첨가강	◎	◎	△	○	○	○
Ti-N강	○	○	◎	○	△	△
Ti-S강	◎	◎	○	◎	○	△
저탄소강	◎	◎	X	◎	◎	X

(◎: Excellent, ○: Good, △: medium, X: bad)

## 6. 브라운관용 강판

브라운관 속에는 Shadow Mask 및 Inner Shield라고 하는 고부가가치 철강소재 부품이 있다. 이들 부품은 우수한 자기적 성질과 더불어 부품 고유의 특성을 지니고 있다. 국내의 브라운관 제조업체들이 사용하는 이들 철강부품들은 극히 최근까지만 해도 전량 외국에서 수입해 왔다. 그런데 국내업체가 공급하는 브라운관이 전세계 시장의 25% 이상을 점유하고 있음을 감안하면 브라운관용 철강부품의 국산화는 경쟁력 강화의 관점에서 대단히 중요한 실정이다. 특히 이들 제품들은 부가가치가 매우 높아 철강업체의 수익성 향상에도 큰 기여를 할 수 있다. TV나 퍼서널 컴퓨터의 영상 출력장치에는 브라운관을 위시하여 LCD(Liquid Crystal Display) 또는 PDP(Plasma Display Panel)이 있지만 브라운관은 가격이나 화상의 선명도 측면에서 다른 출력장치에 비해 우수한 특성이 있다. 따라서 브라운관의 수요량은 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 있다.

Shadow Mask의 소재는 초기에는 구리합금을 사용하였으나 요즘에는 냉연 극저탄소강 및 Invar 합금이 주로 사용된다.<sup>40)</sup> Invar 합금은 열팽창계수가 작고 보자력이 낮아 화상 선명도를 상승시키는 효과가 크나, 가공성이 나쁘고 부식표면이 거칠고 제조가격이 냉연강판과 비교하여 큰 차이를 보이고 있기 때문에 사용이 대형/고급용으로 제한되고 있다. 따라서 사용량 측면에서는 냉연강판이 Shadow Mask 생산의 대부분을 차지하고 있고, 재료개발도 냉연제품의 특성이나 제조원가를 낮추는 방향으로 진행되고 있다. Table 5은 Shadow Mask용 냉연강판의 요구특성과 제조상의 요소기술을 정리한 것이다. 이 표에서 알다시피 Shadow Mask용 냉연강판은 우수한 에칭성, 성형성, 흑화막 밀착성, 자성 등이 요구되는데, 청정성이 우수하고 순도가 높은 극저탄소강이 Table 5의 조건을 만족시켜주는데 유리하다. 현재 수입되어 사용하고 있는 Shadow Mask용 냉연강판의 탄소함량은 10-15ppm 정도이다. 이와같이 낮은 탄소함량이 요구되는 까닭은 프레스 성형시의 형상 동결성 때문으로 고용된 탄소함량을 줄여서 항복점연신 현상을 방지하기 위함이다. 에칭성에 영향을 미치는 인자는 청정도, 표면조도 및 소둔전 인장강도가 있다. 청정도는 개재물의 체

적율이 0.04% 이하가 요구되고, 표면조도는 Ra가 0.3-0.6 $\mu$ m, Sm이 120 $\mu$ m 이하가 요구된다. 결정립계와 입내의 에칭 균일성을 확보하기 위해서는 냉간가공을 하는데, 이 상태에서의 인장강도는 540MPa 이상, 연신율은 6% 이하가 요구된다.

Table 5. Characteristics of shadow mask steels and metallurgical treatments.

구분	요구특성	제조상의 대응
에칭성	개재물, 편석저감, 균일 표면조도, 변형조직	청정강 제조기술, 롤 조도 제어기술, 냉간압하율 제어
성형성	저항복강도, 저항복점 연신율	초극저탄소강, Al-killed 강
흑화막 밀착성	산화피막의 우수한 밀착성	Cr 첨가
저가스 방출성	탄소함량 저감	극저탄소강
표면청정성	표면결함 제거	설비관리기술
자성	저보자력, 고투자율	고순도강, 결정립 조대화

국내에 수입되고 Shadow Mask용 냉연강판은 OCA공정에서 탈탄처리하여 생산한 것이다. 그러나 국내에는 OCA설비가 없기 때문에 POSCO에서는 최근에 OCA 공정을 대체할 수 있는 신제조기술을 개발한 바 있는데, 이 기술은 DAL(Duplex Annealing Line) 설비를 이용한 것이다. 이 공정에서는 RH 처리한 극저탄소강을 냉간압연 이후에 추가적으로 탈탄처리하여 재질을 확보하는데, 신공정은 종래의 공정에 비해 제조원가를 크게 낮출 수 있다. 또한 RH 처리에 의해 탄소함량을 15ppm 이하로 낮출 수 있다면 DAL 탈탄공정도 생략할 수 있다.

Inner Shield의 역할은 브라운관 내의 전자빔에 미치는 외부 자장의 영향을 차단하는 것이다. 따라서 Inner Shield용 냉연강판은 투자율이 높고 보자력이 낮아야 한다. 그리고, 전자빔에 의한 가열과 난반사를 감소하기 위해서 밀착성이 우수한 흑화막의 형성이 필요하다. 규소강판은 자기 특성 측면에서는 우수하나 흑화막 밀착성이 떨어져 사용되지 않는다. 따라서 통상적으로 순철에 가까운 냉연강판이 Inner Shield로 사용되는데, 청정성이 높을수록, 순도가 높을수록, 결정립이 조대할수록 자기적 특성이 좋아진다.

Inner Shield용 냉연강판에는 일반용( $H_c \approx 2.50e$ ), 중급용( $H_c \leq 1.80e$ ) 및 고급용( $H_c \leq 1.30e$ )이 있다. 소형 TV에 사용되는 일반용은 통상의 청정강 제조만으로도 특성을 만족 시켜 줄 수 있기 때문에 국내 공급이 가능하다. 그러나 대형 TV 또는 컴퓨터 모니터에 사용되는 고급용은 전량 수입되어 왔다. 최근에는 중급재 및 고급재의 국산화가 이루어 졌는데, 우수한 자성을 얻기 위해 2회 냉간압연을 실시하는 방법을 적용하고 있다. Inner Shield재는 두께가 0.15mm로 매우 얇기 때문에 1회의 냉간압연을 실시하는 경우 압하율이 높기 때문에 조대한 결정립을 얻기 어렵다. 따라서, 냉간압연을 2회로 나누어 실시함으로써 최종 냉간압하율을 낮추는 것이 필요하다. 결정립 조대화를 위한 또 다른 방법으로 Strain Annealing(SA)이 제안되기도 하였다.<sup>41)</sup> Strain Annealing은 가공량이 적을 때 관찰되는 현상으로, 새로운 핵의 생성이 없이 결정립계의 이동에 의해서만 재결정이 일어나면서 결정립 조대화가 일어난다. 따라서 결정립조대화에 의해 자성을 향상시키기 위해서는 적절한 가공량 및 소둔온도의 선정이 중요하다. Table 6은 OCA를 이용해 제조한 제품과 Strain Annealing 현상을 활용해 제조한 제품의 성질을 비교한 것인데, 제조원가가 낮은 SA재의

특성이 OCA재와 거의 비슷한 것을 알 수 있다.

Table 2. Properties of inner shield steels manufactured by strain annealing(SA) and OCA.

Steel	Hc(Oe)	$\mu_{0.35}$	$\mu_{max}$	Br (gauss)	B <sub>10</sub> (gauss)
SA	1.2	840	4450	12300	14800
OCA	1.2	820	4500	10800	14500

## 7. 결론

지금까지 최근에 관심의 대상이 되고 있는 박강판의 제조기술 및 활용에 관해서 정리해 보았다. 박강판 제조기술의 개발은 품질향상과 가격저감에 대한 수요가의 끊임없는 요구를 만족시켜주기 위해서 추진되어 왔다고 할 수 있다. 자동차강의 경우 경량화가 가장 관심사로, 이를 위해 고강도/고가공성 강판의 제조 뿐만 아니라 Hydro-Forming과 같은 수요가 가공기술의 개발도 활발히 수행되었다. 라인파이프의 경우는 고강도와 더불어 저온인성이나 HIC/SSCC 저항성의 향상이 관심의 대상이었고, 캔용 강판의 경우는 고성형성에 의해 수요가 가공공정에서의 생산성 향상이 중요한 일이었다. 이와같이 다양한 수요가의 요구를 충족시켜주기 위해서는 끊임없는 기술개발이 필요하며, 현재 보다 한 차원 높은 기술을 개발하기 위해서는 물리/화학적 기본 야금이론에서 출발한 기술개발 방법론이 요구된다. 최근의 초세립강이나 초고순도강 프로그램은 이런 측면에서 효과가 기대되는 유망한 기술개발 과제이다.

철강제품의 시장확대를 위해서 철강사 자체기술의 개발과 더불어 수요가 가공기술의 개발도 매우 중요하다. 국제철강연맹(IISI)이 주관하는 ULSAX Program은 수요가 기술의 개발을 위한 세계 철강사의 집합적인 노력의 한 예이다. 수요가 가공기술의 개발을 위해서는 철강사 자체의 노력과 더불어 철강사와 수요가의 공동 노력이 바람직하다. 이런 움직임은 여러분야에서 나타나고 있는데, 대체재와의 경합이 심한 자동차나 Packaging 산업의 경우에는 더욱 중요하다. 2피스 캔인 RBS는 철강회사인 British Steel과 제관업체인 Redicon사가 공동으로 개발한 것으로 AI과의 경쟁에서 시장을 확보하는데 큰 기여를 할 것으로 평가된다. 미국의 Auto-Steel Partnership도 철강사와 자동차사가 상호 관심사를 논의하고 기술협력 활동을 추진하는 기구이다. 철강사는 끊임없는 접촉을 통해 수요가의 요구를 살펴 공동의 이익을 위해 협동개발체제를 구축할 뿐 아니라, 기술개발의 구체적인 추진을 위해 정부의 재정지원을 포함한 자원 마련책도 강구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. J. Mano, M. Nishida, T. Tanaka, T. Kato, N. Aoyagi and N. Yamada: Tetsu-to-Hagane, 68 (1982) 171
2. S. Sugisawa, S. Hamamatsu, K. Kikuchi and K. Kunishige: Tetsu-to-Hagane, 68 (1982) 1256
3. T. Sakagami, T. Higashino, N. Aoyagi, M. Morita, N. Kurosawa and T. Kato: CAMP-ISIJ, 6 (1993) 1695
4. T. Sakagami, T. Higashino, M. Morita and N. Kurosawa: CAMP-ISIJ, 8 (1995) 1637
5. M. Kinoshita, H. Kimura, K. Osawa, T. Okita, H. Owada and M. Hori: NKK Technical Reports, 145 (1994) 1

6. O. Kawano, K. Esaka, S. Kato, H. Abe, J. Wakita, M. Takahashi, M. Katakami and S. Harada: 製鐵研究, 329 (1988) 15
7. S. Hashimoto, M. Sudo, K. Mimura and T. Hosoda: Transaction ISIJ, 26 (1986) 985
8. S. Nomura, N. Komatsubara, K. Kunishige and H. Fukuyama: CAMP-ISIJ, 5 (1992) 1851
9. N. Imai, N. Komatsubara, K. Kunishige and S. Nomura: CAMP-ISIJ, 9 (1996) 1092
10. H. Kimura, M. Kinoshita, T. Okita and M. Hori: CAMP-ISIJ, 5 (1992) 1855
11. K. Mimura, M. Miyahara and Z. Shibata: CAMP-ISIJ, 5 (1992) 1859
12. S. Hashimoto, K. Mimura, T. Hosoda and M. Sudo: Tetsu-to-Hagane, 72 (1986) 1736
13. O. Kawano, J. Wakita, and M. Takahashi: Tetsu-to-Hagane, 82 (1996) 73
14. O. Kawano, J. Wakita, K. Esaka and H. Abe: CAMP-ISIJ, 8 (1995) 568
15. N. Imai, N. Komatsubara and K. Kunishige: CAMP-ISIJ, 8 (1995) 572
16. I. Tsukatani, S. Hashimoto and T. Inoue: ISIJ International, 31 (1991) 992
17. 日本 日間産業新聞 (1999.3.3)
18. 武智弘: 自動車用 材料 シンポジウム(自動車技術會,日本鐵鋼協會),(1995) 1
19. 秋末治, 羽田隆司: 新日鐵技報, 354 (1994) 1
20. 奥田金晴, 川辺英尚, 川端良和, 坂田敬, 小原隆史: CAMP-ISIJ, 10(1997),498
21. 林豊, 岡本篤樹, 岩崎誠夫, 梅原有二: 塑性と加工, 23 (1982) 1034
22. 細谷佳弘 等: CAMP-ISIJ, 5 (1992) 1823
23. 岸田宏司 等: CAMP-ISIJ, 4 (1991) 2011
24. 權藤永 等: 鐵と鋼, 62 (1976) S591
25. 川崎製鐵 資料
26. 松村理 等: 鐵と鋼, 79 (1993) 209
27. 馬場有三 等: R&D 神戶製鋼技報, 35 (1985) 89
28. B. Jones: HSLA Steels Tech. and Appl., ASM, Metals Park (1984) 715
29. 권오준: 대한금속학회지, 1 (1988) 52-62
30. J.M. Gray and W.J. Fazackerley: 37th Annual Conf. of Metallurgist, (1998), Unpublished Report.
31. Private Communication
32. J.M. Gray: AGA Reports No. MA/AGA/83/3 and MA/AGA/84/1, (1984)
33. S. Hill: Materials World, (1996) 69-71
34. K. Imazu: Tetsu-to-Hagane, 79 (1994) N103
35. K. Imazu: 경금속, 44 (1994) 110-115
36. D. Jones: Unpublished Report
37. M.B. Gibbs and C.F. Schrader: Blast Furnace and Steel Plant, (1968) 303-308
38. A. Yasuda, K. Ito and K. Tsunoyama: Proc. on Hot and Cold Rolled Steels, TMS, (1988) 273
39. 祖川理: Ceramics, 27 (1992) 1193-1197
41. K. Fukuzawa and A. Takai: Tetsu-to-Hagane, 67 (1981) 289
42. 김교성, 백승철, 권오준: 대한금속학회지, 36 (1998) 1939