제5회 압연심포지엄 / 이준정 편
한국소성가공학회 pp.37~44

자동차 외판용 BH강판에서 성형성과 소부경화성에 미치는 조질압연의 영향

고홍석*, 문만빈*, 신철수*, 오현운*
기술연구소, 현대하이스코*

Effect of Temper Rolling on Formability and Baking Hardenability in Baking Hardenable Steels for Auto Body Outer Panel

H. S. Ko*, M. B. Moon*, C. S. Shin* and H. W. Oh*
Technical Research Laboratories, Hyundai HYSCO*

Abstract

Automotive company has been endeavoring to develop high strength steels to get higher fuel efficiency of car since the oil shortage in 1970s and to cope with the recent strict environmental regulation. Outer panels(Hood, Roof, Door and Fender) for automobile require higher dent resistance. Bake-hardenable(BH) steels are known as useful for their high deep drawability and high dent resistance. Recently BH steels are increasingly adapted for outer panel use due to their high drawability and high dent resistance. In this study, effect of temper rolling on formability (textures, r value) and bake hardenability is investigated for improving characteristic of bake-hardenable steels.

Key words : temper rolling, automobile outer panel, dent resistance, texture, bake hardenability

1. 서론

대기중에 방출되는 총 CO_2량은95%로써 이중 자동차에서 배출되는 CO_2량이 전체 20%를 차지한다. 또한 차1대에서 CO_2방출 분포를 보면 약 85%가 운전 중에 방출되고, 재활용(0.4%), 재료생산(7%), 차 생산(4%) 운송(2%)순으로써 열효율을 개선하는 것이 가장 효과적인 CO_2방출을 줄이는 방법이다. 이에 환경오염에 대한 관심과 우려가 증가함에 따라 자동차 社들은 환경오염을 보호하기위한 대책 방안을 찾기 위해 고심해왔었다. 이를 위해서는 CO_2방출감소가 가장 최선의 길로써 인식되게 되었고 이를 개선하기위한 효과적인 방법으로 자동차의 무게를 감소하는 방안이 제시되었다. CO_2를 줄이는 방법으로 배터리와 같은 새로운 전력공급원을 개발하거나 혹은 열효율을 개선하는 것이다. 열효율을 개선하기위한 방법은 여러 가지가 있는데 그 중 하나는 엔진의 완전연소 효율을 높이는 방법이며 또한 자동차가 움직일 때 저항성을 감소시키는 것, 즉 자동차 차체무게를 줄이는 것이다. 보고된 자료에 의하면 100kg의 車 무게를 줄임으로써 열효율은 1km/l의 효과가 있는 것으로 보고하고 있다. 전체 차 무게에 대한 차체 무게(white body weight)는 25%로써 차체 무게의 경량화가 매우 중요하다. 차체 경량화는 1980년대에 고장력강 연구 개발이 이루어져 현재까지 여러 차체부위에 그 사용량이 증대하고 있는 추세이다. 차체 경량화를 위한 주요방법은 1)차 바디 디자인을 최적화 하기위해 고장력강의 적용을 확대하거나 2)TWB과 같은 기술을 적용하여 재료강도와 강판 두께를 최적화 하는 방법 또는

3) 전체 part들을 점용접 대신에 레이저 용접 등을 통해 연결하는 결합수를 줄이는 방법 등이 있다. 본 연구에 소개된 BH강판은 위에서 설명한 경량화 목적으로 개발된 강종으로써 최근에 자동차 외판부에 그 사용량이 매우 증대하고 있다. 이 강은 성형 공정 중 스템핑시 스프링 백이나 차체 주름 결함 등을 줄여줄 뿐만 아니라 덴트 저항성을 개선시켜 주는 특징을 갖고 있다. BH강판은 차체 성형공정(sheet-blanking-forming-painting-baking-assembly)중 차체 치수 변화나 다른 추가 공정 없이 항복강도가 증가함으로써 외부의 접촉이나 손상이 쉬운 자동차 외판부의 덴트 저항성을 증가시켜준다. 본 연구에서는 이러한 BH강판을 개발하기위해 BH특성에 미치는 여러 인자들(합금성분, 어닐링 온도, 냉각속도, 조질 압연)중 조질압연의 영향을 찾아내어 제조기술 최적화를 달성하고자 하였으며 또한 이러한 조질압연조건 변화에 따라 성형성 및 조직변화에 미치는 영향에 대해서도 자세히 알아보았다.

2. 이론적 배경

그림1에 BH강의 개념도를 나타내었다. BH강은 주로 극저탄소강을 기지로 하여 Ti 와 Nb가 단독이나 복합으로 첨가된다. 제강 및 열연공정에서 N은 Al와 반응하여 AlN으로 석출되고 C는 Ti 및 Nb와 반응하여 TiC와 NbC로 석출된다. 이때 철기지 내에는 BH량에 필요한 만큼의 고용(solute) 탄소량을 확보 시키게 된다. 냉간압연을 걸쳐 연속소둔공정이나 연속합금화용융도금공정에서 NbC는 Nb와 C로 분해 되어 기지 내로 재고용 되며 TiC는 그대로 기지 내에 남게 된다. 따라서 Ti첨가강의 경우 고용 C량은 보통 열연공정이전에 결정된 반면 Nb첨가강의 경우는 연속어닐링공정에서 결정된다. 연속어닐링공정에서 NbC의 분해를 원활히 하기위해서는 냉각속도는 최소 20℃/s이하로 수행되어야만 된다.

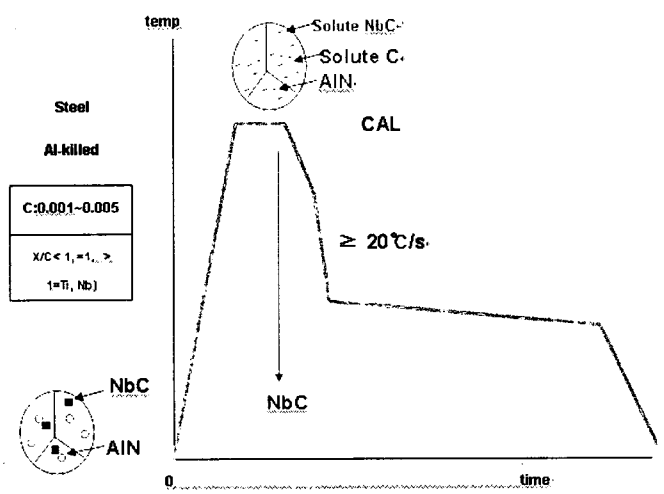


Fig 1 BH강 제조기술 개념도

그림 2에는 자동차 공정에서 항복강도가 증가되는 형태를 공정 순으로 나타내었다. 그림2 에 보인 바와 같이 자동차 제조공정은 크게 강판 블랭크-가공(성형)-도장-굽기(baking)-조립 순으로 이루어진다. 블랭크 된 강판은 약 2%의 가공변형을 통해 각 부위에 따라 성형이 이루어지며 가공된 소재는 도장처리를 하게 된다. 도장 처리 후 오븐에서 160℃, 20분 정도로 가열하여 마른 다음 다른 차체부와 결합된다. 이러한 제조공정에서 2%정도로 가공된 성형품은 철 기지 내에 가공변형으로 전위(dislocation)가 도입되게 되고 도장 굽기 공정에서 가열원을 에너지로 하여 철기지 내 탄소원자가 전위부근으로 확산함으로써 전위에 고착된다. 이렇게 전위에 고착된 탄소는 후차 가공 변형시 항복강도의 상승을 유도함으로써 덴트성을 개선하게 된다.

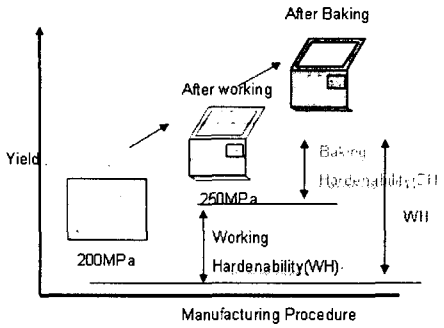


Fig 2 자동차 제조공정에서의 항복강도 상승효과 설명도

BH강판은 Ti와 Nb가 첨가되는 양에 따라 크게 세 가지 형태로 분류된다. 그림 3에 BH강의 종류와 특징을 나타내었다. Type 1은 (Ti,Nb)/C<1 인 경우로써 첨가한 Ti와 Nb량이 C와 결합하여 TiC와 NbC탄화물로 석출할 때 과잉의 C가 남는 형이다. 이러한 Type1은 열간 공정에서 Ti와 Nb등을 부족하게 첨가한 Excess C형으로 어닐링 조건에서 유리하나 안전한 BH특성을 얻는데 어려움이 있다. Type 2는 과잉의 Ti와 Nb가 첨가된 형으로써 열간 공정에서 TiC 및 NbC로 고정 시킨 후 고온어닐링 공정(Nb/C해리온도)에서 열처리 후 고용C를 확보하는 방법으로 Type1보다는 BH특성 및 성형성이 우수하나 고온 어닐링이 필요하고 냉각시 NbC의 재석출을 방지하기 위하여 급냉이 필요하다. Type3은 Type1과 Type2의 혼합형으로써 현재 가장 많이 사용되고 있는 형태이다.

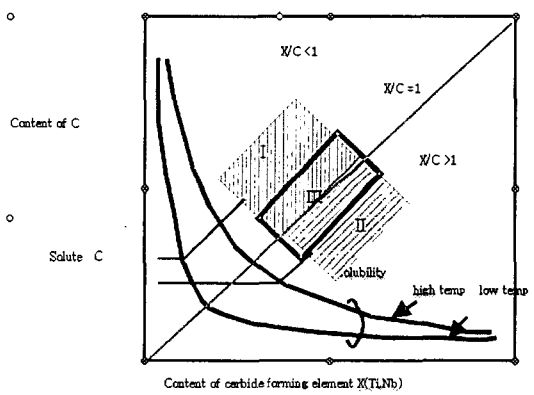


Fig 3 BH강의 종류와 특징

BH강 물성은 첨가되는 합금원소(C, Ti, Nb)에 의해 1차적으로 결정되는데 C량은 대게 10~25ppm 정도로 첨가된다. 왜냐하면 과잉의 C가 첨가될 경우 시효(aging)가 발생되어 스트레쳐 스트레인 표면결함이 형성되어 자동차 외관 품질의 심각한 표면결함문제를 야기시키기 때문이다. 그림 4에 적정 첨가 C량과 시효발생 범위를 나타내었다.

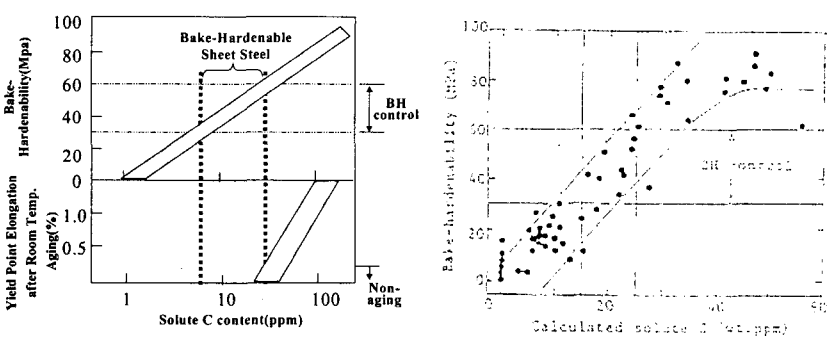


Fig 4 첨가 C량과 BH 및 AI량의 상관관계

앞서 설명한 BH형태에서 Ti와 Nb의 첨가량은 BH 및 r바 값에 크게 영향을 미친다. 그림 5에 BH 및 r바 값에 미치는 Ti 및 Nb 첨가량별 소둔 온도의 영향을 나타내었다. BH성은 소둔 온도의 증가에 따라 증가하고 r바 값은 소둔 온도가 너무 높으면 2상 영역에 위치되어 다시 감소되는 경향을 보인다. Ti, Nb/C비율이 증가될수록 r바 값은 증가되는 특징을 보인다.

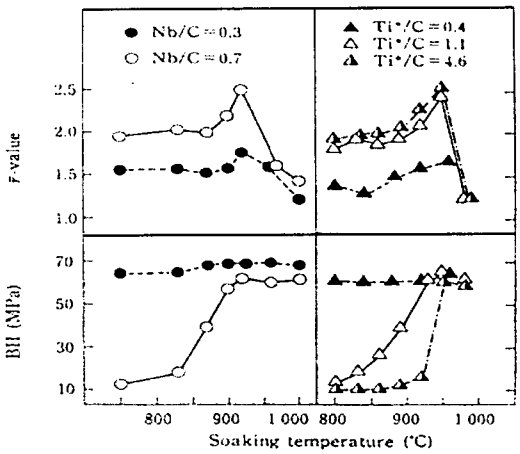


Fig 5 BH 및 r바 값에 미치는 Ti 및 Nb첨가량별 소둔 온도의 영향

조질압연은 그림 6과 같이 압연이 진행되면서 STRIP이 롤사이로 진입할 때 롤입측부에서 먼저 탄성영역을 만나게 되고 이 영역을 지나 소성 변형되는데 STRIP 표면부에서 STRIP 직하 두께방향으로 작은 소성변형이 이루어진다. 소성변형은 소재 전체에 변형대(deformation band)를 생성시키지 못하고 미량 변형대를 생성시키고 중앙 중립부에 소성변형 되지 않은 영역이 남게 된다. 따라서 소재는 변형대와 비변형대가 존재하게 된다. 조질압연은 소재물성에 많은 영향을 미친다. 조질압연의 주요 효과는 다음과 같다. 항복현상이 발생되는 소재의 경우 항복억제 효과가 있으며, 스트립 표면에 조도(roughness)를 부여한다. 또한 스트립의 평탄도와 표면 광택도도 제어하는 효과가 있다. 본 연구에 사용된 소재는 극저탄소강으로써 항복현상이 발생되는 소재이다. 항복현상을 적절하게 제어하지 못하면 표면결함(시효에 의한 표면 스트레쳐스트레인 결함)이 발생되어 자동차 외판용으로 사용하지 못하게 된다.

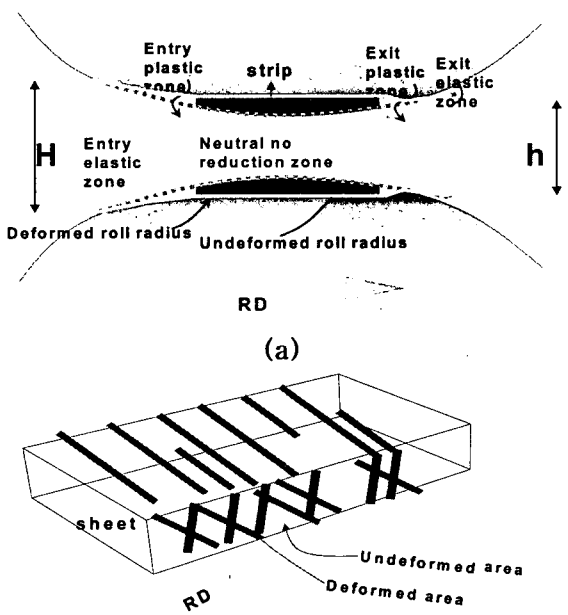


Fig 6 조질압연동안의 롤과 스트립간의 변형상태와 변형후 소재 스트립의 변형대

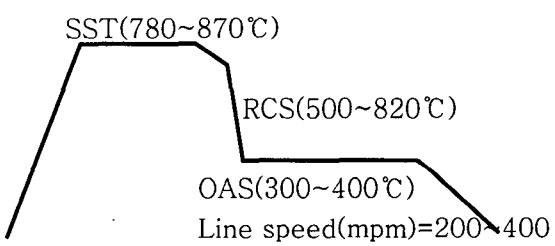
3. 실험 방법

본 연구에 사용된 소재의 화학조성을 표 1에 나타내었다. 이들 소재는 열간압연, 냉간압연을 실시한 다음 연속어닐링공정에서 소둔온도 850℃, 서냉온도 960℃, 과시효온도 345℃, 공정속도 250m/min으로 제조되었다. 조질압연은 0.5%와 1.5%로 실시하였다. 시험실적 시험은 CAL 열처리공정에 따라 고속열처리 CCT-Av를 사용하여 위의 CAL line조건과 동일하게 실시하고 조질압연 특성을 알아보기 위해서 조질압연 연신율을 0~2.5%범위에서 0.25%단계로 2단 평행 조질압연기를 사용하여 시험하였다. 인장시험은 항복강도는 응력속도모드로 10N/mm^{2}시험하였고, 인장강도는 변형모드로 48%/min으로 시험하여 구하였다. 소부경화량(BH;Baking Hardenability)은 전변형 2%를 준 후 소부(baking)조건 160℃에서 20분간 소부한 다음 구하였다. Lankford값은 drawability장비를 이용하여 구하였다. 조질압연조건별 집합조직은 FEG/SEM-EBSD로 표면부와 전단부를 측정하여 결정방위를 구하였다. 전위밀도분포는 TEM를 이용하여 관찰 하였다.

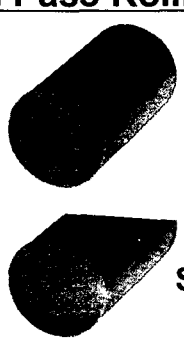
Table 1 **The chemical compositions (ppm) of the steels us**

Specimen	C	Si	Mn	P	S	N	Al	Nb	Nb/C(at%)
	12	100	7300	530	90	20	570	100	1.08

열처리는 당사 기술연구소에 보유중인 고속열처리 SIMULATOR(CCT-AV)를 사용하여 아래와 같은 Heat Cycle로 수행하였다.



Skin Pass Rolling Condition



SPM-El(%): 0.25~2.5(step 0.25%)

4. 연구결과

그림 7에 조질압연변화에 따른 기계적 특성변화를 나타내었다. 조질압연율 0.5%까지 항복강도는 감소하며 0.5~1.2%까지는 일정한 값을 보인다. 1.2%이상에서는 증가한다. 인장강도는 큰 변화 없이 일정하며 연신율과 가공경화지수는 1.0%이후 감소한다. 항복연신율은 조질압연율이 증가할수록 감소하다가 1.0%이후에는 사라진다.

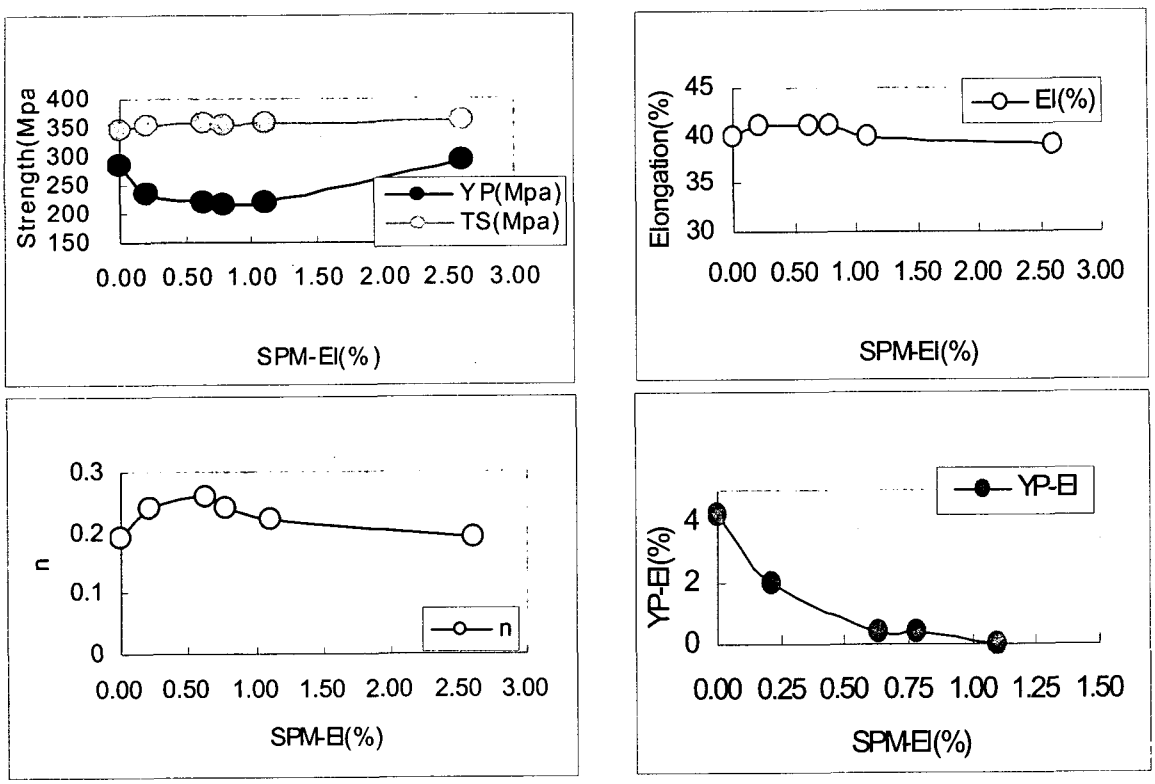


Fig 7 조질압연 압하율 변화에 따른 기계적 특성변화

그림 8에 조질압연변화에 따른 도장 baking전후 항복강도 변화를 나타내었다. 도장 baking전에 비해 2% 전변형과 baking후 조질압연량이 증가할수록 항복강도는 증가함을 알 수 있다.

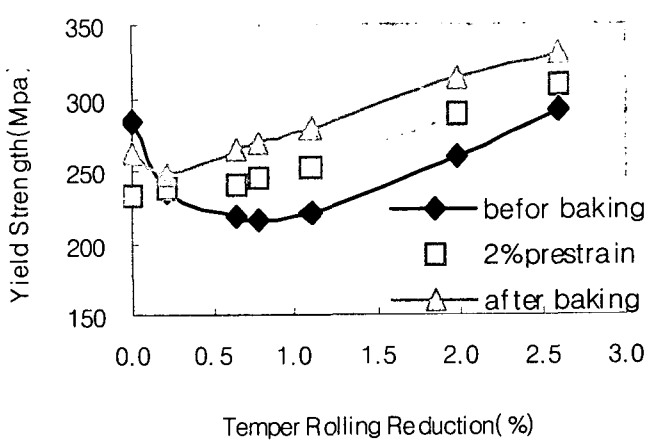
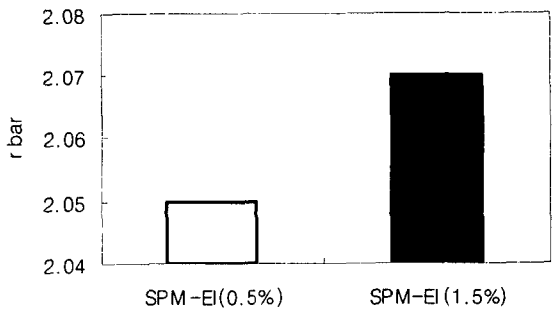
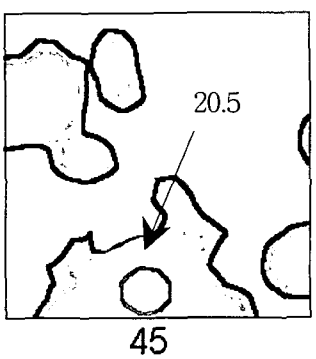


Fig. 8 도장 Baking전후 항복강도에 미치는 조질압연 압하량 영향

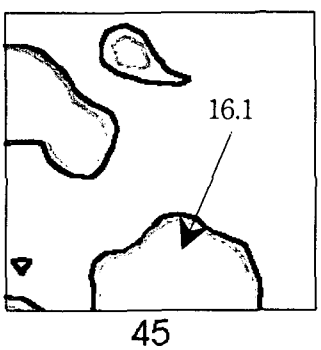
그림 9에는 표면부와 표면층에서의 2/3부위에서의 EBSD관찰 결과와 소성변형계수 값이다. 조질압연이 증가할수록 {112}<110>, {110}<112>집합조직이 증가하고 소성변형계수 값도 증가 하는 경향을 보인다. 그림 10에는 투과전자현미경으로 관찰한 전위분포사진이다. 0.5% 압하량에 비해 1.5%압하량에서 전위분포 밀도가 더 높은 것을 알 수 있다.



(a)



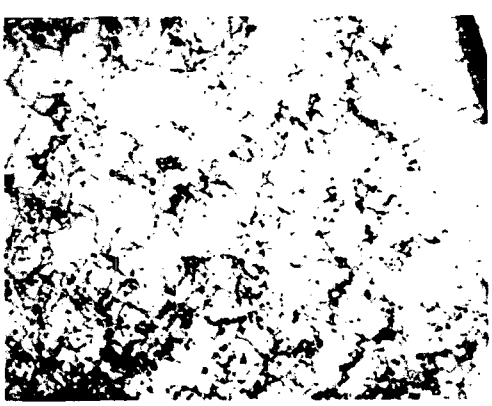
(b)



(c)

Fig. 9 r바와 집합조직에 미치는 조질압연 압하량 영향 (a) r 바 (b) 1.5%압하량에서 방위분포함수(ODF) (c) 0.5%압하량에서 방위분포함수(ODF)

(a)



(b)

Fig. 10 조질압연후 전위분포 관찰 투과전자현미경 (a) 0.5%압하량 (b) 1.5%압하량

지금까지의 연구 결과를 종합하여 보면 최적의 조질압연 범위는 최대 BH값을 확보함과 동시에 일반 기계적 특성을 저해하지 않는 0.75~1.2%범위이다. 물론 극저탄소강을 기지로하는 강판의 경우 0.75%이상의 조질압연조건에서는 항복연신율이 나타나지 않는다. 따라서 0.75%이상조건으로 조질압연을 실시할 경우 시효현상을 억제함과 동시에 적정 요구물성을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

자동차 외판용 BH강판에서 소부경화성과 성형성에 미치는 조질압연 영향을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연속어닐링공정에서 최적 조질압연 압하량은 0.75~1.2%로 나타났다.
2) 조질압연을 통해 성형성이 개선됨을 알 수 있었다.

참고문헌

(1) Izumi FUKUDA et al., 日本機械學會論文(A編) 5卷 550? (1992-6) p36
(2) Woo Chang Jeong, Metallurgical and Materials Transactions A, V29A, February, (1998) p 463
(3) 特許平7-242958 (1995)