

0.15%C-6%Mn강의 잔류오스테나이트 생성에 미치는 역변태 열처리의 영향

홍 호, 이오연, 이규복

전북대학교 공과대학 금속공학과, 신소재개발연구소

Effect of Reverse Transformation Treatment on the Formation
of Retained Austenite in 0.15%C-6%Mn Steels

H. Hong, O.Y. Lee and K.B. Lee

Research Institute of Advanced Materials Development, Department of
Metallurgical Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756

ABSTRACT

The effects of alloying elements and the conditions of reverse transformation studied treatment on the formation of retained austenite in 0.15C-6%Mn-(Ti, Nb) steels has been studied. The addition of Ti and Nb to 0.15C-6%Mn steel shows no effect on the formation of retained austenite. In case of reverse transformation treatment at various temperatures, the shape of retained austenite was lath type, growing toward the longitudinal and thickness direction with increasing the heat treatment temperatures. The retained austenite formed by the reverse transformation treatment at higher temperature has a lot of stacking faults induced by the internal stress. The retained austenite was stabilized chemically by enrichment of C and Mn in the vicinity of a untransformed austenite and the chemical stability of retained austenite was decreased with increasing the heat treatment temperature and the holding time. It was effective to heat treat at 650°C in order to obtain over 30vol.% of retained austenite, but more desirable to heat treat at 625°C for a long time, considering the amount and quality of retained austenite.

1. 서 론

고강도 강관의 개발은 자동차 업계를 비롯하여 각종 산업의 제품 경량화와 경제성 향상을 위해 끊임없이 진행되어 왔으며, 특히 최근에 자동차용 고강도 강관은 승객의 안정성과 차체의 경량화를 목적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 최근에는 보다 가공성이 우수한 초고강도강이 요구되고 있으며, 특히 자동차의 도어 임팩트 바, 범퍼 보강재, 충격흡수

부품 등에는 인장강도 90kg/mm², 연신율 30% 이상의 고강도·고연성 강관이 요구되는데 최근 잔류오스테나이트(γ_R)의 변태유기소성(TRIP)현상¹⁾을 이용하여 연성이 현저히 우수한 고강도강을 얻을 수 있음이 많이 보고되고 있다^{2~8)}.

기존 C-Si-Mn계 TRIP강의 대표적인 화학조성은 0.2~0.4%C-1.5%Mn-1.5%Si이므로 다량의 잔류오스테나이트를 얻기 위하여 2단 열처리공정을 적용하고 있다. 즉, 오스테나이트 영역 또는(α

+ γ) 2상영역으로 가열한 후 급랭한 다음, 베이나이트 영역에서 항온변태시키므로서 15~40% 정도의 잔류오스테나이트량을 함유한 복합 조직강을 제조하고 있다^{2,3,9)}. 최근 Furukawa 등¹⁰⁻¹²⁾은 Si를 첨가하지 않은 저C-고Mn강을 열간 압연한 후 단순히 2상영역에서 역변태 열처리를 함으로써 마르텐사이트 또는 베이나이트 기지에 다량의 잔류오스테나이트를 함유한 고연성·고강도의 TRIP강을 얻을 수 있다고 보고하였다.

잔류오스테나이트의 생성은 미변태 오스테나이트에 의한 탄소농축에 의한 화학적 안정화를 이용한 것이므로 얻어지는 잔류오스테나이트량은 시편의 평균 탄소량에 따라 변화한다. 그리고 2상영역의 어느 온도에서 생성된 오스테나이트의 안정성은 유지시간이 증가함에 따라 감소한다. 즉 생성된 오스테나이트의 안정성은 특정 온도에서 평형에 이르기 전 유지시간의 초기단계에서 높다. 이러한 초기 단계에서 오스테나이트의 안정성이 높은 것은 두 가지 인자, 즉 석출된 오

스테나이트의 크기 및 그 온도에서 용질원자(C, Mn 등)의 분배거동과 관련이 있다.

그러나 Furukawa 등은 잔류오스테나이트의 생성 거동과 관련하여 C와 Mn의 분배거동, 오스테나이트에의 농화정도, 열적 안정화(thermal stabilization)기구 등을 구체적으로 제시하지 못하고 있다. 본 연구에서는 0.15C-6%Mn-(Ti, Nb)강을 역변태 열처리하였을 때 다량의 잔류오스테나이트량을 생성시키기 위한 열처리 조건을 제시하고 잔류오스테나이트 생성과 관련하여 미세조직 관찰, C 및 Mn의 분배거동 및 첨가원소의 영향 등을 조사하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 시편은 실험실적으로 진공용해한 저C-Mn계 Al-killed강으로 그 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of C-Mn steels(wt.%)

Alloy	C	Mn	Si	P	S	sol-Al	Ti	Nb	Fe
A	0.15	6.0	0.50	0.01~0.02	0.005	0.03~0.06	-	-	bal.
B	0.15	6.0	0.47	0.01~0.02	0.005	0.03~0.06	0.05	-	bal.
C	0.15	6.0	0.49	0.01~0.02	0.005	0.03~0.06	-	0.035	bal.

시료는 진공고주파유도로에서 50kg의 ingot로 용해 주조하였다. ingot는 soaking furnace에서 1250℃로 가열한 다음 분괴압연기에서 210mm(폭)×20mm(두께)로 압연하였다. 최종압연은 1250℃에서 2시간 가열한 다음 3 pass하여 230mm(폭)×2.4mm(두께)까지 압연하였다. 압연종료온도는 900℃가 되도록 하고 압연후 water spray 방식으로 560℃까지 냉각하여 권취로(coiling simulation furnace)에 장입하고 1시간 유지후 상온까지 냉각하였다. 역변태 열처리는 열팽창 시험에 의해 측정된 변태온도를 토대로 하여 ($\alpha+\gamma$) 2상영역 온도인 600

℃~675℃에서 25℃간격으로 했으며, 열처리시간은 20분~24시간으로 하여 각 조성별로 동일 열처리 조건당 시편 3개씩 box로에서 열처리한 후 노냉하였다.

역변태처리 시편의 SEM 조직은 단계별로 연마한 후 5% nital용액으로 부식하여 관찰하였다. TEM 시편은 기계적 연마방법에 의해 50~70 μ m 두께로 연마하여 5% perchloric acid와 95% acetic acid를 혼합한 전해액에서 twin jet electropolisher로 전해연마하여 제작후 STEM(Philips CM120)으로 관찰하였다. 잔류오스테나이트량의 측정은 X-선회절

시험기(Rigaku D/max-ⅢA)에서 Mo-K α target를 사용하고 X-선회절패턴의 (211) α 와 (220) γ 및 (311) γ 의 3 peak 법을 이용하여 가 회절선의 적분강도를 구한 다음, Miller 식¹³⁻¹⁴⁾을 이용하여 계산하였다. 잔류오스테나이트내의 탄소량의 측정은 X-선회절시험기에서 Fe-K α target를 사용하여 (220) γ 및 (311) γ 회절선으로부터 잔류오스테나이트내의 탄소량을 다음과 같은 Ruhl 과 Cohen 식¹⁵⁾을 이용하여 계산하였다.

$$\alpha = 3.572 + 0.033(\text{wt pct C})$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig. 1은 0.15%C-6%Mn강을 600°C~675°C 온도에서 6시간 역변태 처리한 시편의 주사전자 현미경 사진으로서 검은 부분이 페라이트이고, 흰 부분이 잔류오스테나이트와 마르텐사이트를 나타낸다. 이때

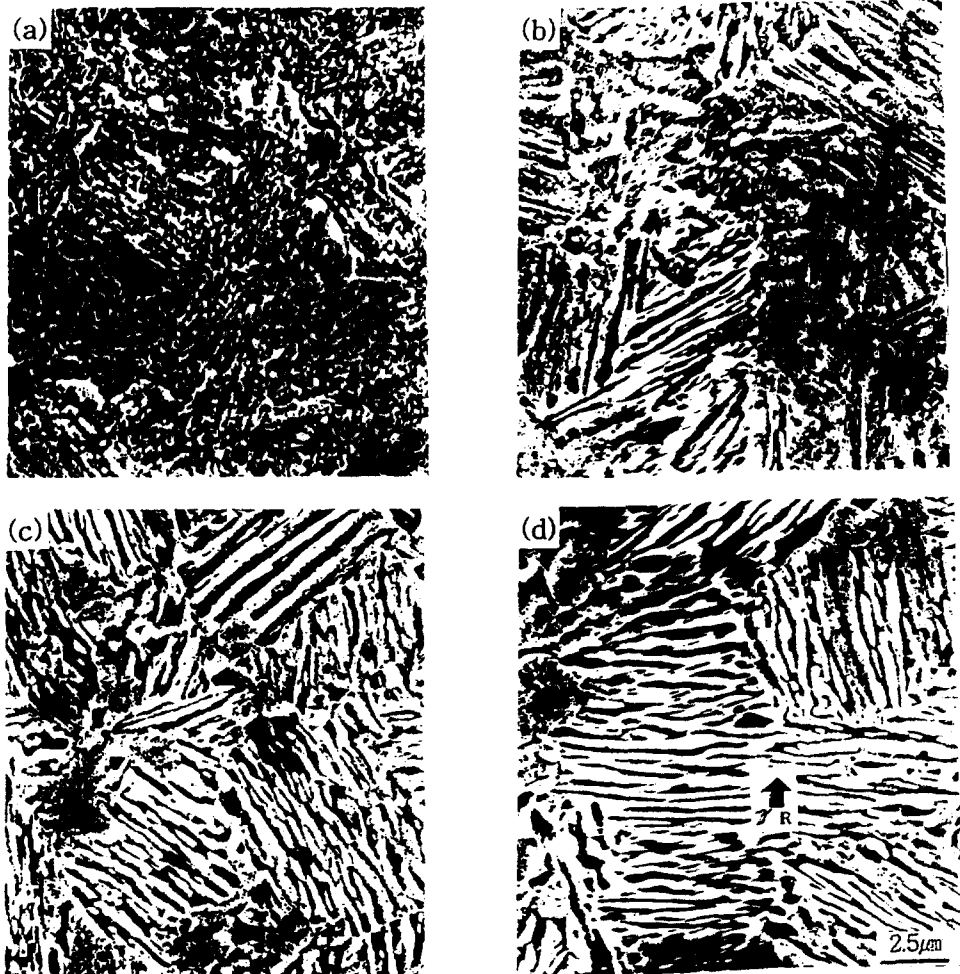


Fig. 1 Scanning electron micrographs of 0.15C-6Mn steel reverse transformed at various temperatures for 6hr.

(a) 600°C (b) 625°C (c) 650°C (d) 675°C

이 흰부분의 분율이 각 역변태 온도에서 생성된 오스테나이트량이 된다. 역변태 처리한 시편의 조직은 서로 다른 방위를 갖는 lath packet들이 잘 발달되어 있으며, 역변태 열처리온도가 상승함에 따라 래스경계가 명확해지고 잔류오스테나이트가 점차로 성장하여 합체되고 있으며 그 크기 및 양도 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 2는 0.15%C-6%Mn강을 여러 온도에서 6시간 동안 역변태 처리한 경우 잔류오스테나이트의

형상을 보여주는 투과전자현미경사진이다. 잔류오스테나이트는 대부분 래스형 잔류오스테나이트로서 역변태온도가 상승함에 따라 길이 및 두께방향으로 성장하고 있다. Fig. 2(a)는 600°C에서 역변태 처리한 미세조직으로서 잔류오스테나이트가 성장초기 단계에 있으므로 그 형상이 뚜렷하지 않지만, 0.1 μ m 정도의 래스폭을 갖는 래스형 잔류오스테나이트가 존재하며 일부 페라이트 기지내에 섬모양(isolated type)의 극히 미세한 잔류오스테나이트도 발견되었다.

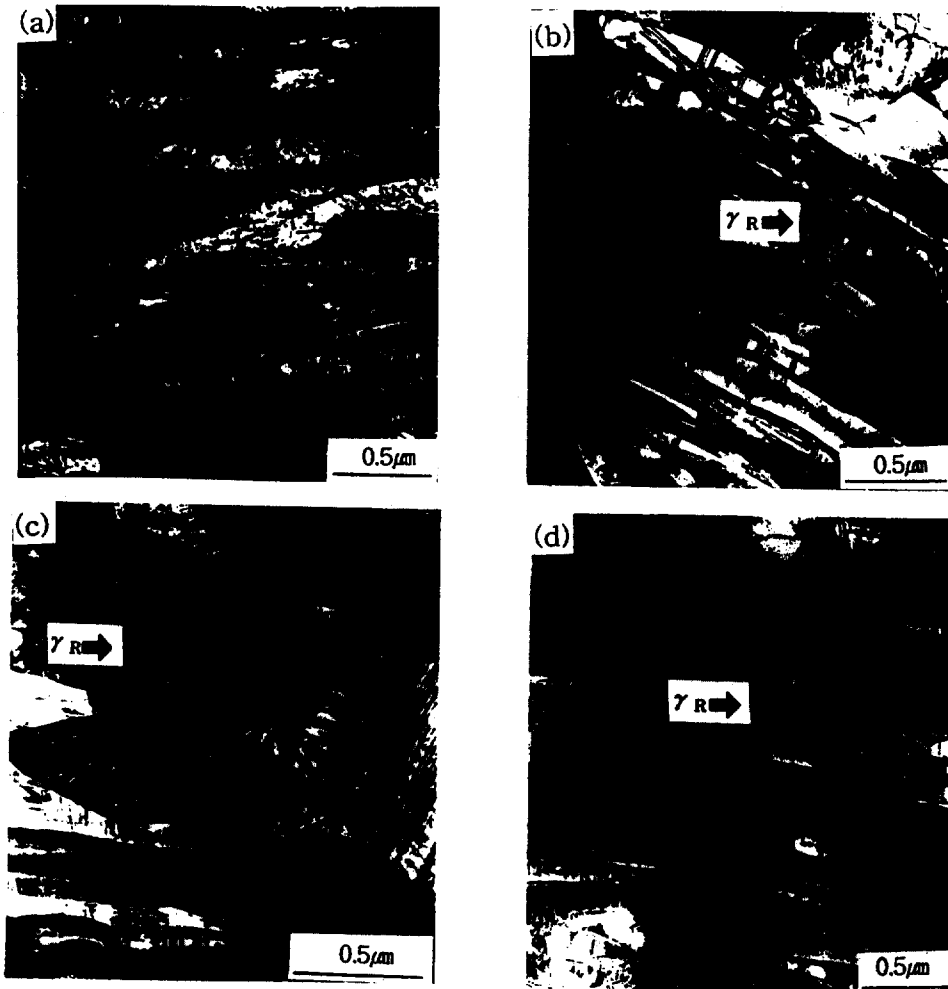


Fig. 2 Transmission electron micrographs of 0.15C-6Mn steel reverse transformed at various temperatures for 6hr.
 (a) 600°C (b) 625°C (c) 650°C (d) 675°C

Fig. 2(b)는 625℃에서 역변태 열처리한 것으로서 역변태온도가 상승함에 따라 600℃에 비해 잔류오스테나이트량도 많아지고 크기도 증가했음을 관찰할 수 있다. 일반적으로 오스테나이트는 페라이트 입계 또는 삼중점, 페라이트 내부에서 생성되는 것, 그리고 래스형 페라이트나 마르텐사이트 사이에서 생성된다고 알려져 있으나^{16,17)}, Fig. 2(c)에서는 (b)와 달리 잔류오스테나이트가 결정립계에서 수직방향으로 기지내로 성장해 나가고 있는 형상을 보여 주고 있다. Fig. 2 (d)의 675℃에서 역변태 처리한 경우 잔류오스테나이트는 대부분 래스 형상이지만, 일부 괴상형(granular type) 및 섬모양도 관찰되었다. Fig. 2(d)에서 볼 수 있듯이 고온에서 역변태처리하여 생성된 잔류오스테나이트 내부에는 많은 적층결함(stacking fault)이 존재하였다. 이 적층결함은 오스테나이트 생성시, C, Mn 등의 축적에 의하여 오스테나이트 내부에 복합적인 큰 응력이 생기는데 이 큰 내부응력을 이완시키기 위하여 형성된다고 생각되며 이 적층결함은 잔류오스테나이트가 마르텐사이트로 변태할 때 핵생성 장소로 작용할 것이다¹⁶⁾.

3.2 잔류오스테나이트의 생성거동

3.2.1 합금원소의 영향

Fig. 3은 3강종(A, B, C)을 여러 온도에서 12시간 동안 역변태 처리하였을 때 형성되는 잔류오스테나이트량을 비교하여 나타낸 것으로서 이들 강종 모두 650℃에서 역변태 처리하였을 때 가장 많은 잔류오스테나이트가 얻어지며, 그 양은 약 34%이었다. Ti 및 Nb첨가강에서 잔류오스테나이트량은 650℃까지 열처리 온도가 상승함에 따라 증가하지만 그 후 감소하는 경향을 보이고 있다. 0.15%C-6%Mn 강에서도 잔류오스테나이트량은 이와 비슷한 거동을 보이지만, 675℃로 역변태온도가 상승함에도 불구하고 32.5%로서 Ti 또는 Nb첨가강 보다 높게 나타났다.

Hanzaki등¹⁵⁾에 의하면 강종에 Nb 첨가량이 증가

하면 잔류오스테나이트량이 다소 증가된다고 하였는데, 이는 강한 탄화물 형성원소인 Nb이 Nb(C, N) 형태의 석출물을 형성하여 페라이트의 결정립을 미세화시키고, 시멘타이트의 석출을 억제하는 효과가 있기 때문에 상대적으로 다량의 탄소가 오스테나이트에 농축되어 안정화합으로서 잔류오스테나이트량을 증가시킬 수 있다고 보고하였다. 그러나 본 실험결과에서는 micro-alloying steel과 달리 Ti나 Nb첨가에 의한 잔류오스테나이트의 안정화 효과는 나타나지 않았다.

Fig. 4는 3강종을 각종 온도에서 12시간 동안 역변태 처리했을 때 생성되는 잔류오스테나이트 내의 탄소량을 비교하여 나타낸 것이다. 각 시편 모두 625℃에서 역변태 열처리시 잔류오스테나이트내의 탄소량이 가장 높고 그 후 감소하고 있다. 역변태 처리시 초기에는 탄소가 오스테나이트중에 불균일하게 분포되나, 열처리온도와 시간이 충분히 길어지면 탄소는 최대농도가 될 때까지 남아 있는 오스테나이트에 균일하게 농축될 것이다. 그런데 강종의 탄소량은 0.15%로 일정하기 때문에 잔류오스테나이트내의 탄소량은 잔류오스테나이트의 생성량에 따라서 변화될 것이다. 즉 잔류오스테나이트량이 어느 임계값을 초과하여 그 양이 증가함에 따라 잔류오스테나이트내의

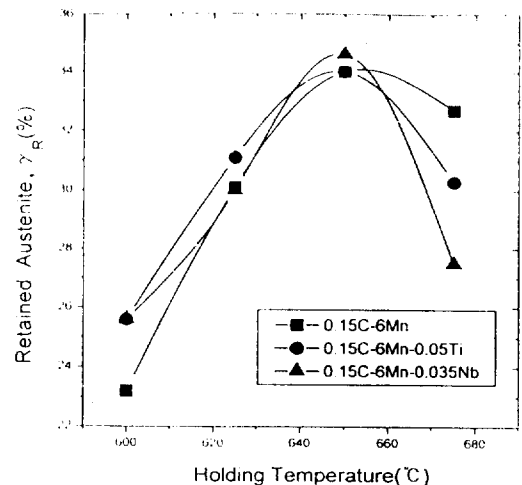


Fig. 3 Effect of holding temperature on the amount of γ_R in various steels transformed at various temperatures for 12hr.

탄소량은 감소될 것이다.

Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 0.15%C-6%Mn강의 잔류오스테나이트량은 650°C, 12시간 열처리한 경우 약 34% 정도로서 가장 많은 양을 보이나, 잔류오스테나이트내의 최대 탄소량은 625°C에서 나타나고 있다. 이와 같이 상온에서 최대의 잔류오스테나이트량을 확보할 수 있는 역변태 처리 조건과 잔류오스테나이트내의 탄소량이 최대가 되는 조건이 서로 일치하지 않는 것은 오스테나이트의 화학적 안정성과 생성량의 차이에 기인되는 것으로 생각된다.

역변태 온도가 650°C를 넘으면 잔류오스테나이트량이 감소하는 것은 다음과 같이 설명할 수 있다. 650°C 이상이 되면 오스테나이트 입자는 핵생성 후 성장하여 냉각후 잔류할 수 있는 열적 안정성이 높은 오스테나이트의 양이 감소하기 때문에 역변태 가열온도에서 생성되는 총 오스테나이트량은 열처리 온도가 상승함에 따라 증가할지라도 냉각후 잔류하는 오스테나이트의 양은 감소한다. 또한 높은 역변태 온도에서 가열중 생성된 오스테나이트중의 냉각전 탄소함량은 오스테나이트 입자성장의 결과로 저온영역에서보다 더 낮을 것이다¹⁵⁾. 따라서 이 오스테나이트의 탄소농도가 서냉중에 일어날지라도 역변태 온도에서 가열 유지중에 일어나는 탄소농화를 포함한 전체 농화정도

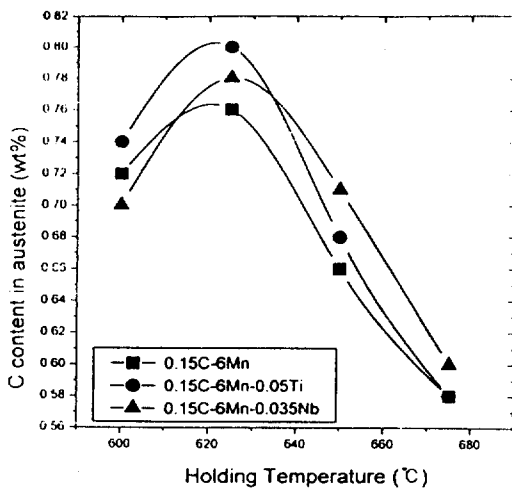


Fig. 4 Effect of holding temperature on carbon content in retained austenite with holding time for 12hr.

는 작게 되어 오스테나이트가 화학적으로 불안정하기 때문에 일부 마르텐사이트로 변태되어 결과적으로 Fig. 3과 같이 650°C 이상에서 잔류오스테나이트량이 감소하게 된다고 생각된다.

C의 농화에 의해 오스테나이트가 안정화되지만 잔류오스테나이트를 다량 생성시키기 위해서는 오스테나이트중에 일정량 이상의 탄소량이 필요하며, 일정한 탄소량일지라도 본 연구결과에서 나타난 바와 같이 역변태온도에 따라 잔류오스테나이트량이 변화하므로 최적 역변태조건을 찾아내는 것이 중요하다. 본 연구에서는 3강종 모두 650°C의 역변태 온도에서 최대의 잔류오스테나이트량을 보여 주고 있음을 알게 되었다.

3.2.2. 역변태 열처리 조건의 영향

Fig. 5~7은 0.15C-6%Mn-(Ti, Nb)강을 600~675°C에서 역변태 열처리하였을 때 생성된 잔류오스테나이트량의 변화에 미치는 유지시간의 영향을 역변태 온도별로 나타낸 것이다. 각 열처리 온도에서 유지시간의 증가에 따라 잔류오스테나이트량이 최대가 되는 peak가 나타나며, 이 peak는 유지온도가 상승함에 따라서 점점 단시간측으로 이동하고 있다. Fig. 5에서 0.15%C-6%Mn 강 경우 650°C에

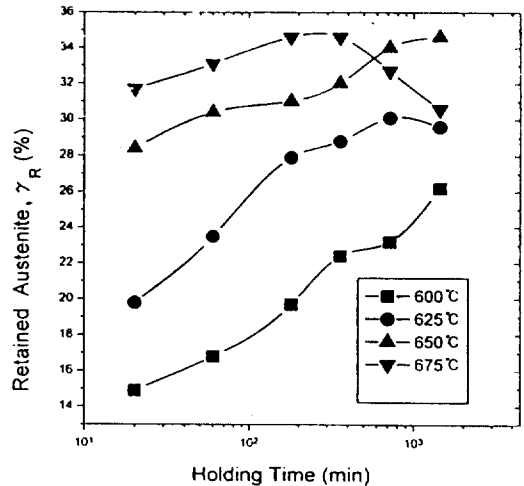


Fig. 5 Effect of holding time on the amount of γ_R in 0.15C-6Mn steel at various reverse transformation temperatures.

서 24시간 유지할 때 잔류오스테나이트량은 최대 34%이며, Ti첨가강의 경우인 Fig. 6에서는 650°C에서 12시간 역변태 열처리시 약 34%를 나타낸다. Fig. 7에서 Nb첨가강은 650°C, 24시간에서 잔류오스테나이트량이 약 36%로 최대값을 나타내며, 675°C의 고온에서는 3시간 이후부터 잔류오스테나이트량은 유지시간의 증가와 함께 급격히 감소하고 있다. 650°C에서 역변태 열처리시 이와 같이 가장 많은 잔류오스테나이트가 생성되고 675°C의 고온에서 감소하는 이유는 역변태 중에 일어나는 탄소와 망간의 농화와 오스테나이트 입자의 성장에 기인한 오스테나이트의 화학적·열적 안정성의 차이 때문이라고 생각된다.

Fig. 8은 잔류오스테나이트의 생성에 미치는 역변태 온도의 영향을 조사하기 위해 0.15%C-6%Mn강을 625°C에서 6시간 동안 역변태 열처리한 경우의 TEM조직으로서 (a)는 명시야상, (b)는 암시야상, (c)는 제한시야 회절패턴이며, (d)는 회절패턴의 지수를 나타낸 것이다. 잔류오스테나이트는 대부분 래스형상을 하고 있으나, 일부 페라이트 결정입계에서 성장한 0.5 μ m 크기의 괴상형과 페라이트 래스내에 존재하는 0.2 μ m 크기의 섬모양도 볼 수 있다. 역변태 처리시 Mn의 분배거동을 조사하기 위하여

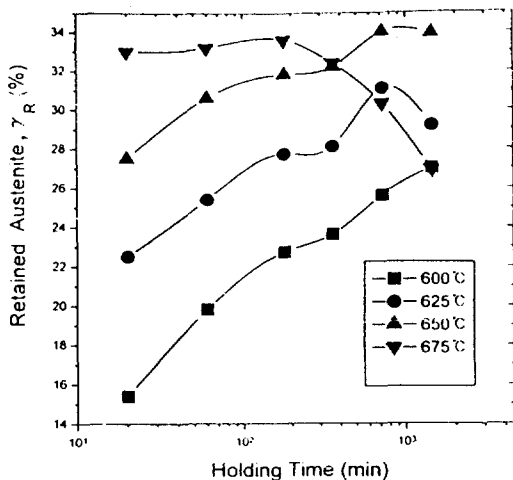


Fig. 6 Effect of holding time on the amount of γ_R in 0.15C-6Mn-0.05Ti steel at various reverse transformation temperatures.

Fig. 8(a)에서 화살표로 표시한 부분(A, B, C)의 Mn량을 STEM으로 분석한 결과, 페라이트 기지의 Mn량은 2.8%이었고, 잔류오스테나이트의 경계부와 내부의 Mn량은 각각 6.2%와 12.4%로서 0.15%C-6%Mn강의 평균 Mn농도보다 2배의 Mn을 함유하고 있어, Mn이 오스테나이트내에 축적되어 오스테나이트의 화학적 안정화에 기여한다고 생각된다. 이와 같이 Mn이 오스테나이트에 농화되는 데 따른 화학적 안정화에의해 잔류오스테나이트량은 증가하게 되며, 역변태시 paraequilibrium 또는 local equilibrium의 열역학적 조건에서 페라이트에는 Mn 농도가 낮고 잔류오스테나이트에는 Mn 농도가 높게 분배된다고 생각된다¹⁹⁾.

Fig. 9는 0.15%C-6%Mn강을 675°C에서 6시간 역변태 처리한 경우의 잔류오스테나이트를 보여주는 TEM조직으로서 (a)는 명시야상, (b)는 암시야상, (c)는 제한시야 회절패턴이며, (d)는 회절패턴의 지수를 나타낸 것이다. 잔류오스테나이트의 래스 폭은 약 0.3 μ m이며, 잔류오스테나이트내에 많은 적층 결함이 존재하는 것을 관찰할 수 있다. 675°C에서 잔류오스테나이트의 안정성은 오스테나이트내의 탄소량이 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 급격히 감소하고 있고, 오스테나이트내에 농화된 Mn량이 평형상태에

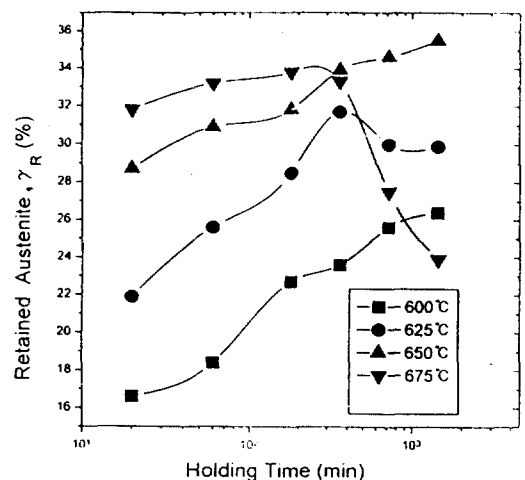


Fig. 7 Effect of holding time on the amount of γ_R in 0.15C-6Mn-0.035Nb steel at various reverse transformation temperatures.

접근함에 따라 감소되기 때문에 오스테나이트의 화학적 안정화가 감소되어 일부는 마르텐사이트로 변태하게 될 것이다.

Fig. 9(a)에서 화살표로 표시된 부분(A, B, C)의 Mn 농도를 분석한 결과 페라이트에서는 3.3%Mn이며, 잔류오스테나이트의 경계부는 5.6%Mn, 그 내부는 10.2%Mn 농도를 나타내었다. 625°C에서 6시간동안 역변태처리한 경우와 675°C에서 6시간 역변태처리한 경우 잔류오스테나이트의 Mn량을

비교하여 보면 675°C의 역변태처리 온도에서는 625°C에 비하여 잔류오스테나이트에 농화된 Mn이 평형상태로 재분배되기 때문에 보다 낮은 Mn농도를 나타낸 것이라 생각된다.

Fig. 5~7에서 역변태 온도가 상승할수록 짧은 유지 시간에서 잔류오스테나이트량이 최대가 되고 그 이후 감소하는 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 역변태 온도로 가열할 때 각상의 체적분율과 탄소농도는 A_{C1} 과 A_{C3} 온도사이의 가열온도에 따라 변화한

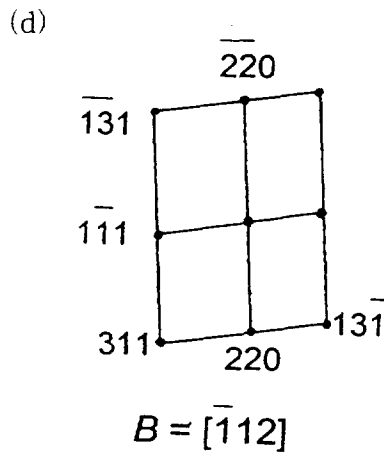
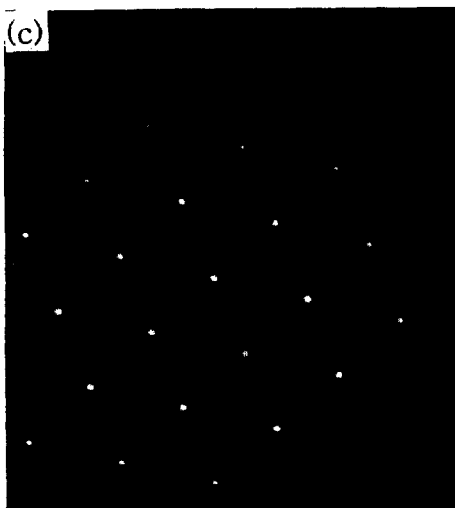
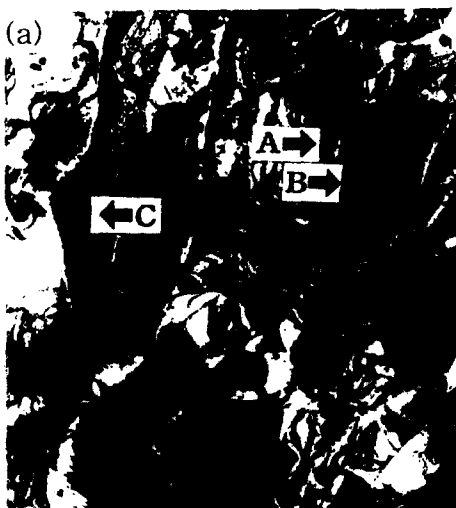


Fig. 8 Transmission electron micrographs of 0.15C-6Mn steel reverse transformed at 625°C for 6hr. (a) bright field image (b) dark field image (c) selected area diffraction pattern (d) indexed result

다. 낮은 역변태 온도에서는 오스테나이트내의 탄소 농도가 높아 오스테나이트의 화학적 안정성은 높지만 오스테나이트의 체적분율이 적으며, 반대로 높은 역변태 온도에서는 오스테나이트내의 탄소농도가 낮아 오스테나이트의 화학적 안정성은 낮지만 오스테나이트의 체적분율은 크다.

잔류오스테나이트량은 오스테나이트의 체적분율과 화학적 안정성 사이의 균형에 의해 결정된다. 낮은 온도에서는 오스테나이트의 체적분율이 작기 때문에

그 양이 적고 고온에서는 오스테나이트의 화학적 안정성이 낮기 때문에 그 양이 적게 된다.

그리고 역변태 온도에서 생성된 오스테나이트의 화학적 및 열적 안정성은 유지시간의 증가와 더불어 평형에 접근함에 따라 감소한다. 즉 생성된 오스테나이트의 안정성은 특정 온도에서 평형으로부터 멀리 떨어진 유지시간의 초기단계에서 높다. 유지시간의 초기단계에서 오스테나이트의 안정성이 높은 것은 석출된 오스테나이트의 크기 및 그 온도에서 용질원자,

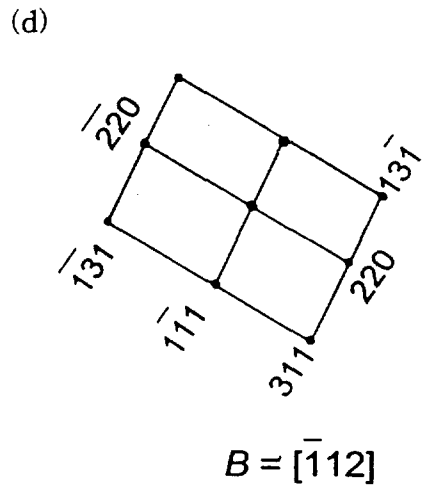
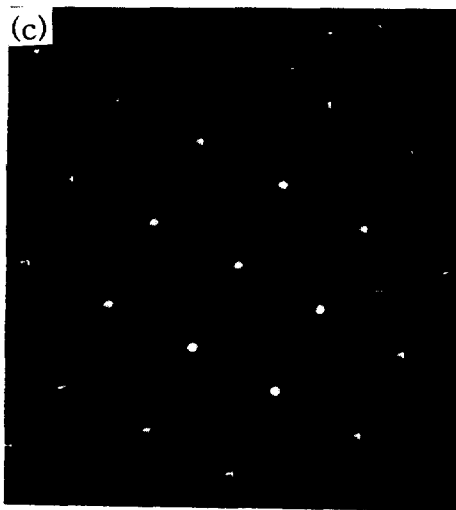
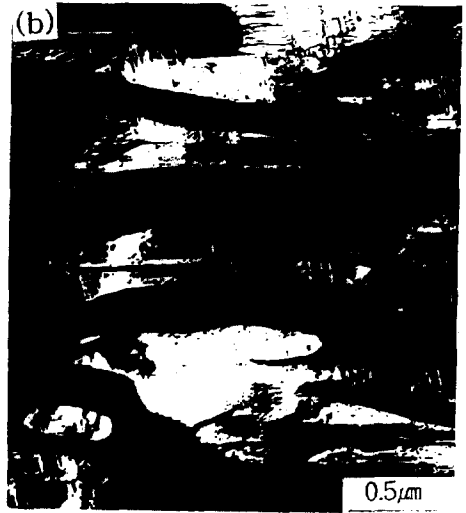
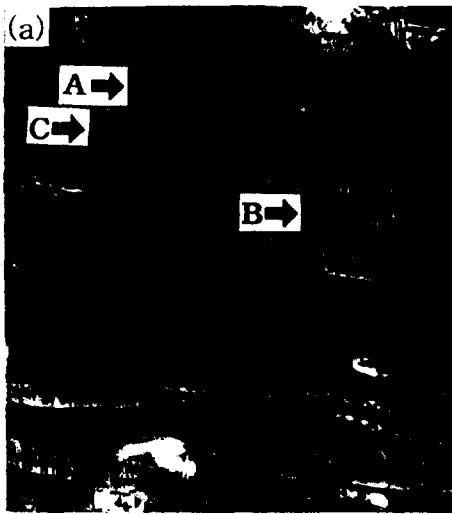


Fig. 9 Transmission electron micrographs of 0.15C-6Mn steel reverse transformed at 675°C for 6hr. (a) bright field image (b) dark field image

(C, Mn)의 분배거동과 관련이 있다^{12, 15)}. 유지시간의 초기단계에 생성된 약 $0.2\mu\text{m}$ 정도의 고립된 작은 오스테나이트 입자는 유지시간이 길어짐에 따라 합체, 성장하여 냉각시 열적 안정성이 감소하여 일부 성장한 오스테나이트가 변태하여 마르텐사이트상이 되므로 오스테나이트 입자의 크기가 오스테나이트의 안정성에 중요한 영향을 미치게 된다.

다음에 용질원자의 분배거동을 고찰해 보면, 탄소 원자는 그 크기가 Fe 원자에 비해 매우 작기 때문에 페라이트와 오스테나이트에서 충분한 거리를 확산할 수 있으므로 평형에 중요한 영향을 주는 것은 Mn 원자라고 생각된다. Mn 원자는 확산속도가 C 원자에 비해 매우 낮으므로 페라이트에서는 대부분 확산될 수 있지만 오스테나이트상에서는 충분히 확산될 수 없을 것이다. Huang 등¹²⁾에 의하면 0.12%C-5.1%Mn강을 650°C 및 675°C 에서 3시간 열처리했을 때 Mn의 확산거리는 페라이트내에서 $0.4\sim 0.6\mu\text{m}$ 이고, 오스테나이트내에서 $0.015\sim 0.023\mu\text{m}$ 으로 일단 오스테나이트가 핵생성되면 Mn 원자는 페라이트에서 오스테나이트로 확산할 수 있지만, 오스테나이트내에서는 페라이트에 비해 확산거리가 아주 짧기 때문에 쉽게 확산하지 못하고, Fig. 9에서 나타난 것처럼 페라이트/오스테나이트의 계면부근 또는 오스테나이트의 edge부분에 국부적 평형을 이루며 Mn 원자가 축적된다. 따라서 Mn 원자의 축적효과가 평형분배의 효과보다 더욱 크게 될 것이다. 역변태 온도에서 생성된 오스테나이트량은 유지시간이 증가함에 따라 증가되며 Mn 원자는 오스테나이트상내에서 평형분배 상태로 서서히 확산된다. 이러한 과정이 오스테나이트의 화학적 안정성의 감소와 관련되어 있으며, 이러한 Mn 원자의 축적으로 인한 높은 화학적 안정성은 오스테나이트상이 핵생성되었다고 가정할 때 유지시간이 짧은 경우에 더욱 크게 될 것이나, 생성된 총 오스테나이트량은 역변태 초기에 그 양이 적으므로 최대 잔류오스테나이트량은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 0.15C-6%Mn-0.035%Nb 강을 650°C 에서 24시간 유지할 때 얻어진다.

4. 결 론

본 연구는 0.15C-6%Mn-(Ti, Nb)계 TRIP강에서 강도·연성조합이 우수한 다량의 잔류오스테나이트를 얻기 위한 합금조성과 열처리 조건을 도출하기 위하여 잔류오스테나이트의 생성거동에 미치는 Ti, Nb첨가와 역변태 열처리 조건의 영향, 미세조직 관찰, C와 Mn의 분배 거동 등을 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 잔류오스테나이트량에 미치는 Ti 및 Nb 첨가의 효과는 역변태처리온도 650°C 까지는 거의 없었지만 675°C 의 고온에서는 0.15C-6%Mn강보다 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 0.15%C-6%Mn강을 여러 온도에서 6시간 동안 역변태처리한 경우 잔류오스테나이트량의 형상은 대부분 래스형으로서 역변태온도가 상승함에 따라서 길이 및 두께방향으로 성장하였다.
- 3) 고온에서 역변태처리하여 생성된 잔류오스테나이트 내부에는 복합적인 큰 내부응력이 의하여 많은 적층결함이 존재하였다.
- 4) 잔류오스테나이트는 베이나이트 래스경계나 prior 오스테나이트의 입계를 따라 형성된 미변태의 오스테나이트 주위에 C, Mn이 농화되어 화학적으로 안정화되며, 역변태온도가 높고 유지시간이 길어짐에 따라 잔류오스테나이트의 화학적 안정성이 감소한다.
- 5) 30% 이상의 잔류오스테나이트를 확보하기 위해서는 650°C 에서 역변태처리하는 것이 효과적이지만, 잔류오스테나이트의 부피분율과 질적 측면을 고려하면 625°C 에서 장시간 열처리하는 것이 바람직하다.

후 기

본 연구는 1996년도 포항종합철주식회사의 연구비지원으로 수행된 것이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr, and R. Bush : Trans, ASM, 60 (1967) p. 252.
- 2) Y. Sakuma, O. Matsumura and H. Takechi : Metall. Trans., vol. 22A (1991) p. 489.
- 3) 澤井 巖, 內田 尙志 : 熱處理, 第 30卷, 第 1號 (1990) p. 27
- 4) Matsumura, O and Sakuma, Y : Trans. ISIJ, 27 (1987) p. 570
- 5) 內田 尙志, 澤井 巖, 坂東岡本 : 鐵 と 鋼, vol. 72 (1986) S 1407
- 6) 澤井 巖, 內田 尙志 佐久間 康治 : 日本金屬學會會報, 第29卷, 第5號 1990, p. 376
- 7) 澤井 巖, 內田 尙志 : 熱處理, 第31卷, 第4號 (1991) p. 225
- 8) W. C. Jeong, D. K. Matlock, and G. Krauss : Mater. Sci. and Eng., A165 (1993) p. 1
- 9) 杉本 公一, 翠正宏 : 鐵 と 鋼, vol. 76 (1990) p. 1356
- 10) T. Furukawa : Mater. Sci. and Tech., 5 May (1989) p. 465
- 11) T. Furukawa, H. Hwang and O. Matsumura : Mater. Sci. and Tech., Nov. 1994, p. 964
- 12) H. Huang, O. Matsumura and T. Furukawa : Mater. Sci. and Tech., July. 1994, p. 621
- 13) R. L. Miller : Trans. ASM, 57 (1964) p. 892
- 14) R. L. Miller : Trans. ASM, 61 (1968) p. 592
- 15) R. C. Ruhl and M. Cohen : Trans. AIME, 245 (1969) p. 241
- 16) 陳 煌泉, 友清 憲治, 惠良 秀則, 清水 峯男 : 鐵 と 鋼, 第75卷, 第4號 (1989) p. 56
- 17) 정진환 : 공학박사 학위논문, 포항공과대학 대학원 (1993)
- 18) A. Z. Hanzaki, P. D. Hodgson and S. Yue : ISIJ, Inter., vol. 35 (1995), No. 1, p. 79
- 19) G. R. Speich, V. A. Demarest, and R. L. Miller : Metall. Trans. 12A, (1981) p. 1419