

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0075

자동차의 안정성을 고려한 고인성 충격흡수 강재로서 TRIP형 복합상강의 기계적 성질 및 그 특성

The Mechanical Properties and Characteristics of TRIP-assisted Multiphase Steels in High Toughness for Automobile Safety

이 기 열*
Ki yeol Lee

ABSTRACT

As the steel plates used for automobile safety, the TRIP-assisted multiphase steels are being introduced to automobile industry with respect to their remarkable mechanical properties for the combination of high strength and large elongation. This multiphase structure is generated by two stage heat treatment (intercritical annealing & isothermal treatment). The metastable retained austenite can be transformed to martensite when plastically deformed, which results in TRIP effect. Actually, the microstructure of TRIP-assisted steels consist of a fine dispersion of metastable retained austenite islands in a ferrite matrix, containing bainite and martensite. The present discussion deals with bainite reaction kinetics of austenite in the process of two stage heat treatment. In relation to bainite transformation, the characteristics of bainite reaction is found to be influenced by the bainite tempering temperature, and also by the relative rate at which carbides precipitate within residual austenite.

주요기술용어: TRIP-assisted steel (TRIP형 강), intercritical annealing (이상영역열처리), isothermal treatment (항온변태처리), bainite transformation (베이나이트 변태)

Nomenclature

Strength : MPa, ksi, kg/mm²

Elongation : %

Bainite reaction rate : reaction amount/ sec

* 회원, (주) 한라중공업

1. 서 론

최근 자동차 산업계의 흐름은 비용감소와 에너지 절감의 추세에 발맞추어 재료 경량화에 그 초점이 모아지고 있으며, 자동차 외판에 관련하여 외부 충격에 대한 높은 저항성이 요구되어지고 있다. 이러한 맥락에서 강의 연신율을 향상시키면 높은 가공성을 요구하는 차체 외판용 재료로

서 사용이 가능하고, 자동차의 안정성에 크게 기여를 할 뿐만 아니라 결과적으로 이는 차체의 경량화와 연비향상에도 일조를 하게 된다.

자동차를 구성하는 3대요소(엔진, 전기, 새시) 중 새시부분에 관련하여 자동차의 내구성과 안정성에 관련된 연구들이 최근에 자주 등장하고 있다. 이와 같은 연구 추세를 분석하여 보면 특히 자동차의 안정성에 많은 비중을 차지하는 자동차 강판에 대한 신소재 개발 및 기계적 성질에 대한 개선이 자주 거론되고 있는 실정이다.

TRIP강 (TRIP steel)의 경우 강도와 연신율의 조화가 아주 우수하고, 특히 연신율이 아주 풍부하므로 자동차의 안정성과 관련하여 외부 충격 응력에 대한 높은 파괴인성이 기대가 된다. 이와 같이 우수한 기계적 성질은 외압이 가해졌을 경우 충격에너지를 흡수하는 방향으로 기여를 하게 되며, 이는 향후 자동차용 박판산업에서 큰 수요를 예상하게 한다.^{1,2)}

기존의 TRIP강과는 다른 변태기구로서, 잔류 오스테나이트에 변형을 가하여 TRIP효과를 얻을 수 있는 TRIP형 복합상강 (TRIP-assisted multiphase steel)은 우수한 인장강도와 큰 변형율을 기대할 수 있기 때문에 학술적인 면, 실용적인 면에서 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다.

여기서 종종 등장하게 되는 TRIP형 강이란 용어는 기존의 TRIP강과 그 의미에서 엄밀하게 구분되어진다. 사실상 TRIP강과 비교시, TRIP형 강이란 용어는 베이나이트강에 TRIP효과를 가미시킨 것으로 해석되어진다. 즉, TRIP형 (TRIP-assisted)이란 용어가 사용되는 배경에는 오스테나이트가 베이나이트로 변태하는 항온변태시 얻어지는 베이나이트강에 잔류오스테나이트의 TRIP효과를 접목시킴으로서 강의 성질을 개선시키려는 시도가 담겨져 있다.

본 연구에서는 Si과 Mn을 주된 원소로 하는 저탄소 TRIP형 복합상 강의 전반적인 개요, 열처리 방법, 베이나이트변태의 특성, 항온변태시 탄화물 석출, 항온변태 제 인자, 베이나이트 변태 속도, 강의 기계적 성질 및 안정성을 고려한 자동

차 사업에서의 향후 적용에 관련하여 분석을 하고자 한다.

2. TRIP형 복합상강의 개요

2.1 TRIP형 강의 특성

2.1.1 자동차용 냉연강판

환경에 대한 부담을 최소화하면서 자원 재생산에 역점을 두며 자원재생을 극대화할 수 있는 재료를 환경조화재료라고 한다. 환경조화형 철강재료의 개발은 냉연강판의 최대수요자인 자동차 산업계에도 크게 연관이 된다. 높은 경량화를 요구하는 자동차용 차체와 강판에 관련하여 차체의 도어 임팩트빔(door impact beam), 범퍼 강화재(bumper reinforcement), 강판등에 관련하여 종래에 주로 이용되어 왔던 것은 이상조직강(dual phase steel)이다. 이러한 이상조직강은 페라이트 기지에 10~20%의 마르텐사이트를 함유하고 있는 미세조직을 보여준다.

그러나 주지하다시피 이상조직강은 높은 강도와 낮은 항복강도, 연속적인 항복거동 및 상대적으로 낮은 연신율등의 기계적 성질에 관련한 제한성을 보여준다. 이러한 제약성은 최근에 수요 확대에 제한을 받고 있는 실정이고, 이 과정에서 이상조직강의 기계적 성질을 보완해주는 고강인강에 대한 수요가 급증하고 있다.

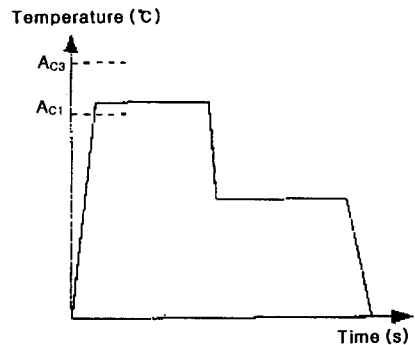


Fig. 1 Two stage heat treatment as typically used for cold-rolled TRIP-assisted steels

페라이트 + 베이나이트 + 잔류오스테나이트 + 마르텐사이트가 적절한 체적분율을 갖고 혼재된 TRIP형 복합강은 최근에 자동차용 박판재료, 항공기용재료, 구조재료등의 다양한 분야에 걸쳐서 연구가 이루어지고 있고 그 적용이 검토가 되고 있다. Fig 1에서 보는 바와 같이 본 TRIP형강의 중요한 이단계 열처리 공정으로서 이상영역열처리와 항온변태처리를 한다. 우선, 페라이트와 오스테나이트가 공존하는 이상영역에서 일정시간동안 소둔을 시킨다. 다음에 고탄소를 함유하는 높은 체적분율의 잔류오스테나이트를 얻는 과정에서 이상영역의 오스테나이트가 베이나이트로 변태하는 베이나이트 항온변태처리를 실시한다.

사실상 TRIP형 복합강은 이단계 열처리 공정(이상영역열처리 + 항온변태처리)중 이상영역의 오스테나이트가 베이나이트로 변태하는 항온변태처리를 3상조직(페라이트 + 베이나이트 + 잔류오스테나이트)이 관찰이 되며, 잔류오스테나이트에 변형을 가하여 TRIP효과를 얻을 경우 4상으로 된 복합상 조직(페라이트 + 베이나이트 + 최종 잔류오스테나이트 + 마르텐사이트)을 형성하게 된다.

2.1.2 TRIP의 원리

1967년 Zackay등에 의해 개발된 TRIP강은 25%이상의 균일 연신율과 200kg/mm²이상의 인장강도를 보여주었다. Table 1에 Zackay등에 의해 제조된 초기 TRIP강의 합금조성이 보여진다.

Table 1 Chemical composition of the TRIP steels proposed by Zackay

원소	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Fe
조성(%)	0.2	9	8	4	2	2	bal.

TRIP강은 1960년대 후반부터 전통적으로 제조되어 온 고장력강이나, 초기에 다른 강들과 같이 광범위하게 적용되어 사용되어지는 않았다. 이는 이 강의 제조기술이 면밀한 열처리공정과 합금조성을 요하고, 초기에

주로 화학기계장치나 잠수함, 구조용재료등 저온에 많이 적용되는 한계를 가졌기 때문이다.⁴⁾

1970년대에 Imao Tamura 등에 의해 개발된 TRIP강의 경우 우수한 기계적 성질과 관련하여 Fe-29Ni-0.26C는 92 kg/mm²의 인장강도와 42%의 연신율을 보이고, Fe-15Cr-13Ni합금의 경우 70 kg/mm²의 인장강도와 66%의 연신율을 보여주었다.⁵⁾

오스테나이트상태의 철강소재가 Ms점 ~Md점(변형에 의하여 마르텐사이트가 생성되기 시작하는 Ms상단의 가장 높은 점)사이의 온도에서 변형을 받을 때 이 철강소재는 마르텐사이트로 변태를 하게 되는데 이와 같은 변태를 변형유기변태(strain induced transformation)라고 하며, 이 과정에서 유기되는 마르텐사이트를 변형유기마르텐사이트(strain induced martensite)라고 한다.

이러한 변형유기마르텐사이트는 열처리 냉각 과정에서 주로 일어나는 열변태마르텐사이트와는 변태기구상 엄밀하게 구분한다. 변형유기변태 과정에서 철강소재는 아주 높은 소성변형을 보이는 경우가 있는데, 변형유기변태시 변형유기마르텐사이트에 의하여 큰 소성이 일어나는 것을 변태유기소성(transformation induced plasticity : TRIP)이라고 한다.¹⁾

대개 변형유기변태시 변형에 의한 강화기구로 강도는 상승하게 되며, 이 과정중 초기넥킹을 억제하며 변태유기소성(TRIP)이 일어나게 된다. TRIP강의 우수한 기계적 성질(높은 강도와 풍부한 연신율)은 이와 같은 변태기구(변형유기변태 → 변태유기소성)에 의하여 얻어진다.²⁾

공업적으로 이용되는 대부분의 고장력강은 인장시험시 넥킹(necking)의 과정을 거치면서 낮은 가공경화속도를 갖게 되고, 이때 넥킹에 의한 소성불안정성(plastic instability)을 경험하게 되며 최종적으로 파단에 이르게 된다. 이 과정에서 인장시험시 넥킹이 일어나기전 균일 변형(uniform elongation)이 유지되다가 넥킹이 생기

면 파단에 이를 때까지 불균일 변형으로 전환을 하게된다.

반면, TRIP강의 경우는 소성변형 과정을 거치면서 오히려 가공경화속도는 증가하게 되며, 그 결과 넥킹에 의한 소성불안정성은 억제되어지고, 계속되는 인장변형시 안정한 상태의 소성변형 [풍부한 연신율]을 경험하게 된다. 이러한 맥락에서 볼 때 강의 인장시험시 넥킹에 의한 소성불안정성을 완전히 제거할 수 있다면 잠재적인 연신율은 상승하게 될 것이고 이 과정에서 450 ksi의 항복강도와 95%의 연신율을 얻을 수 있다고 재료과학자들은 예측하고 있다. 매우 높은 가공경화속도, 풍부한 연신율, 높은 강도, 단면 수축률의 증가는 TRIP강을 특징지워지는 중요한 요소들이다.

2.2 TRIP형 복합상강

기존에는 Ms~Md 온도에서 준안정상태의 오스테나이트에 변형을 가하여 마르텐사이트로 변태시키는 변형유기변태가 Fe-Ni-C 계, Fe-Cr-Ni 계 TRIP강에 주로 이용되어 왔으나, 최근에는 잔류오스테나이트에 변형을 가하여 TRIP효과를 얻는 저탄소 TRIP형 Si-Mn 냉연강판이 주목을 받고 있다. Ni를 주로 이용하던 기존의 방식에서 벗어나 Si과 Mn이 최근의 합금설계에서 자주 이용되는 이유는 Ni이 내식성이 우수한 반면 고비용을 요하기 때문으로 여겨진다.

기존에 제조된 TRIP강의 미세조직은 주로 페라이트 기지상에서의 마르텐사이트와 잔류오스테나이트로 이루어져 있는 반면, 이단계 열처리공정을 거친후 잔류오스테나이트에 변형을 가하여 TRIP효과를 유발하는 저탄소 TRIP형 강에서는 복합상 조직(페라이트 + 베이나이트 + 최종 잔류오스테나이트 + 마르텐사이트)이 관찰이 된다.⁶⁾

근래에 TRIP형 강의 합금설계시 고탄소계가 종종 이용되어 왔는데, 이는 탄소함량을 높일 경우 Ms점이 낮아지고 연성 향상효과에 크게 기여하는 높은 체적분율의 잔류오스테나이트를 얻을수 있어 높은

TRIP효과를 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 고탄소계 TRIP형 강의 경우 강도와 연성은 향상되나 용접성이 저하되므로, 용접성을 중시하며 냉연강판의 최대수요자인 자동차 산업에 적절하게 이용되지 못하는 문제점이 발생한다. 아울러 환경조화형 철강소재와는 거리가 있기 때문에 요즘에는 저탄소계(C함량량 0.25% 이하) TRIP형 강이 종종 이용되고 있다. 즉, 용접성을 향상시키기 위하여는 탄소함량을 보다 더 낮출 필요가 있다.

사실상 자동차용 강판에 적용가능한 TRIP형 복합상강의 경우 강도(strength)와 성형성(formability)뿐만 아니라 용접성(weldability)도 대단히 중요하므로 합금설계시 용접성에 관련하여 많은 주의를 기울여야 한다. 용접성에 관련하여 자동차 제조공정상 자동차 차체는 일체형으로 조립이 되며, 300개 이상의 박판강 성형품을 용접시 대략 3000번의 점용접과 수십회에 걸친 아크용접 및 브레이징 용접등이 요구되고 있다.

탄소함량이 낮으면서도 잔류오스테나이트에 의한 높은 강도 연성향상을 기대하기 위해서는 강판에 첨가된 합금성분을 적절히 조절하고, 합금원소의 효과를 최대로 이용할 수 있는 열처리 조건을 설정해야 한다. 즉, 저탄소계 TRIP형 Si-Mn강의 경우 우수한 강도-풍부한 연신율을 얻기 위하여는 Si과 Mn의 첨가효과를 고려하여 적절한 합금설계 와 열처리 공정이 요구되어진다.

그러나 TRIP형 복합상강은 냉간가공→이상영역 열처리→항온변태처리→변형유기마르텐사이트변태 등의 복잡한 과정을 거치기 때문에 각 공정에 미치는 합금계의 선정, 합금원소의 영향, 최적의 열처리 조건, 오스테나이트→베이나이트변태 조건 및 최적의 기계적 성질을 얻기 위한 각 상간의 체적분율 조사등에 대한 많은 연구검토가 필요한 것이 사실이다.

3. TRIP형 복합상강의 열처리

3.1 이단계 열처리

Fe-C-Si-Mn 시편을 제작한 후에 강의 탈탄을

방지하고 Mn의 증발을 방지하기 위하여 Ar분위기 하의 진공 유도 용해로에서 용해하였다. Table 2에 본 연구에서 거론되는 TRIP형 강의 화학조성이 보여진다. 아울러 본 TRIP형 복합상강에 관련하여 가공열처리를 포함한 이단계 열처리공정의 개요도가 Fig 2에 제시되어진다.

Table 2 Chemical composition of the TRIP-assisted steels used in this discussion

원소	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	Fe
조성(%)	0.15	1.53	1.5	0.008	0.006	0.043	bal.

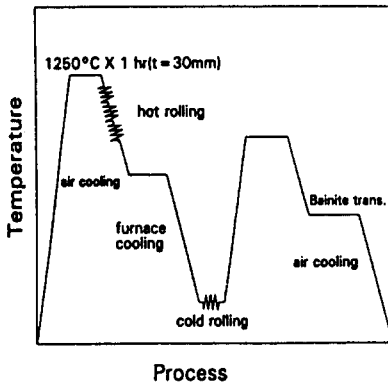


Fig. 2 Schematic diagram showing two-stage heat treatment process of TRIP-assisted steel

1) 균질화 처리 및 열간가공 & 냉간가공 :

용해후 강의 결정립을 미세화하고 미세편석을 방지하기 위하여 1250 °C에서 1시간정도 균질화처리를 하였다. 그 다음 적당한 압하율(10% / pass)로 900 °C에서 열간가공 [최종두께 : 3mm]을 하고 적당한 압하율(5% / pass)로 80 °C에서 냉간가공 [최종두께 : 1mm]을 하였다.

2) 이상영역열처리(inter-critical annealing) + 항온변태처리(isothermal treatment) :

이단계 열처리 공정상 잔류오스테나이트에 관한 마지막 단계가 매우 복잡하므로 베이나이트 변태에 관한 충분한 이해와 검토(특히 온도와 시간)가 요구되어 진다.

◆ 이상영역열처리 : 페라이트와 오스테나이트가 공존하는 이상영역에서 열처리시 dilatometer(팽창계)를 이용하여 A_{C1} , A_{C3} 점을 구하여 이상영역열처리 온도를 결정한다. 본 연구에서는 A_{C1} 이 740 °C 이고 A_{C3} 가 860 °C이므로 $(A_{C1} + A_{C3}) / 2$ 인 800 °C를 이상영역열처리 온도로 결정하였다. 아울러 이상영역에서 열처리시 탈탄을 억제하기 위하여 Ar분위기의 고온 염욕에서 일정시간 (대략 5분) 유지하였다.

◆ 항온변태처리 : 항온변태처리 역시 열처리 과정시의 탈탄을 방지하기 위하여 Ar분위기의 저온 염욕에서 대략 5분정도 항온유지하였다. 항온변태처리온도의 결정시에 역시 dilatometer를 이용하여 TRIP형 제조합금의 M_s 점 (=360 °C)을 구한다음 $M_s + 20$ °C (=380 °C)를 베이나이트 항온변태온도로 결정하였다.

$M_s + 20$ °C를 베이나이트 항온변태온도로 설정하는 이유는 이 온도범위에서 항온변태를 할 경우가장 우수한 TRIP효과를 얻을 수 있기 때문이다. 사실상 $M_s + 20$ °C는 오스템퍼링온도와 많은 관련이 있는데, Fig 3에서 보는 바와 같이 오스템퍼링(austempering)은 오스테나이트상태의 담금질온도에서 S곡선의 코 (550 °C)와 M_s 온도범위의 온도로 급냉후 과냉된 오스테나이트가 베이나이트로 변태 완료할때까지 항온유지하는 열처리방법이다.

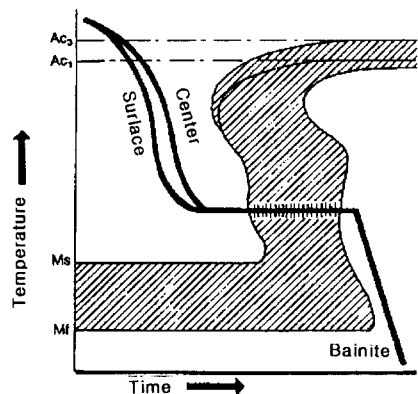


Fig. 3 Schematic diagram showing process of austempering as an isothermal treatment

3.2 베이나이트 항온변태

3.2.1 베이나이트 변태

TRIP형 강 의 이단계 열처리 공정은 이상영역에서의 소둔처리와 오스템퍼링(austempering)처리를 연계시킨 것이므로 오스테나이트가 급냉시 베이나이트로 변태하는 항온변태과정에 많은 주의가 요구되어진다. 최근의 많은 문헌자료에 의하면 항온변태처리시 오스테나이트가 베이나이트로 충분히 변태후 존재하게되는 미변태오스테나이트, 즉 잔류오스테나이트에 관련한 내용들이 많이 보고가 되는 바, 잔류오스테나이트의 체적분율이 크면 TRIP효과가 아주 우수하다는 것은 공통된 견해로 받아들여 지고 있다.^{6) 7)}

Jacques에 의하면 잔류오스테나이트에 탄화물이 석출하게 될 경우 베이나이트는 성장을 멈추고 그 결과 TRIP효과는 아주 저조하게 된다고 보고가 된다.⁶⁾ [⇒ bainite incomplete reaction] 이와 같은 베이나이트의 변태특성이 Fig 4에 제시되어지며, 여기서 화살표는 항온변태처리시 변태 온도를 상대적으로 높게 했을 때 잔류오스테나이트에 탄화물이 석출되는 시점을 의미한다. 이 경우 375°C의 경우에는 대략 10%의 잔류오스테나이트(탄화물 부재)가 남게 되고 충분한 베이나이트 변태가 이루어 졌음을 알 수 있다.

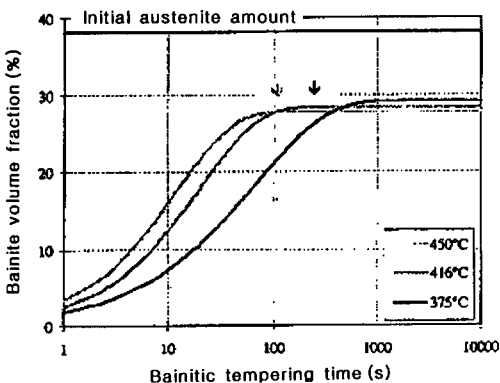


Fig. 4 Kinetics of the bainite reaction in TRIP-assisted multiphase steel

3.2.2 항온변태시 탄화물 석출

항온변태처리시 잔류오스테나이트 상에서의 탄화물 석출은 항온변태처리온도와 크게 관련이 있는 바, Ms + 20 °C보다 높은 온도범위에서 베이나이트변태 처리시 주로 일어나는 것으로 여겨진다. 잔류오스테나이트에서의 탄화물석출은 잔류오스테나이트에서의 탄소농도의 감소를 의미한다. 여기서 잔류 오스테나이트에 탄화물이 석출하게되면 잔류오스테나이트에 존재하는 탄소가 그만큼 소모 되므로 잔류오스테나이트에 존재하는 낮은 탄소량은 결과적으로 TRIP효과에 크게 기여를 하지 못한다. 따라서 저탄소 Si-Mn 강을 항온변태처리시 Ms + 20 °C 와 그 이상의 온도로 크게 분류하여 잔류오스테나이트에서의 탄화물석출 여부를 검토할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 잔류오스테나이트에 탄화물이 석출하는 과정에서 일어나는 잔류오스테나이트의 분해(decomposition of retained austenite)와 관련하여 SEM에 의한 미세조직관찰을 하였다. 탄화물 석출에 의한 잔류오스테나이트의 분해를 보여주는 미세조직이 Fig 5에 제시되어진다.



Fig. 5 Metallograph showing decomposition of retained austenite by precipitation of carbides

3.2.3 항온변태 제 인자

저탄소 TRIP형 강 의 경우, 이단계 열처리과정중 항온변태처리시 베이나이트변태에 영향을 미치는

는 제 인자의 영향을 검토하는 것은 매우 중요하다. 특히, 강의 기계적 성질에 영향을 미치는 Si과 Mn의 효과가 주된 연구대상이 된다. Jacques에 의하면, Si은 베이나이트 항온변태처리시 잔류오스테나이트에 탄화물이 석출되는 것을 억제해 주는 것으로 보고가 된다.⁶⁾ 그 결과 충분한 베이나이트 변태가 이루어지고 높은 체적분율의 잔류오스테나이트가 존재함으로 인하여 변형시 TRIP효과가 일어나는 것으로 이해가 된다.

여기서 Si과 Mn의 함량을 비슷하게 했을 경우 TRIP효과가 우수하게 일어나는 반면, Mn의 함량을 Si보다 아주 크게 했을 경우에는 TRIP효과는 크게 일어나지 않고 반면 이상조직강(dual phase steel)과 비슷한 기계적 거동을 하는 것으로 알려져 있다. 이 경우 이상영역열처리와 항온변태처리 과정시 이상 영역(페라이트 + 오스테나이트)의 오스테나이트가 급냉시 베이나이트로 변태하지 않고 마르텐사이트로 변태했다는 것을 시사하는 바 TRIP형 강의 이단열처리 목적과는 크게 위배된다. 따라서 높은 TRIP 효과를 얻기 위하여는 합금설계시 Si과 Mn의 함량을 비슷하게 할 필요가 있다. 항온변태처리시 적절한 잔류오스테나이트가 존재하고 잔류오스테나이트 내에 탄화물이 석출되지 않았을 경우 래스 베이나이트 사이에 존재하는 잔류오스테나이트의 미세조직이 Fig 6에 보여진다.



Fig. 6 Microstructure of retained austenite (dark) between each lath bainite

3.2.4 베이나이트 변태속도

TRIP형 강의 우수한 기계적 성질에 우선적으로 기여하는 높은 체적분율의 잔류오스테나이트를 얻기 위하여 베이나이트변태처리는 열처리 공정상 필히 요구되어진다. 본 연구에 의하면 베이나이트 변태속도와 관련하여 확실히 되는 것은 잔류오스테나이트의 탄소농도와 탄화물 석출여부가 베이나이트 변태속도에 직접적으로 영향을 미친다는 점이다.

변태특성상, 베이나이트변태는 잔류오스테나이트에 석출하는 탄화물의 상대적인 속도에 의하여 강하게 영향을 받는다. 본 연구에 의하면 베이나이트 변태온도를 Ms + 20℃에서 유지하면 대개 베이나이트가 충분히 변태하는데 많은 시간이 걸리고 그 결과 베이나이트 변태속도는 느리게 된다. 즉, 베이나이트 변태온도를 낮게하면 베이나이트 변태속도는 그만큼 느리게 된다는 것을 알 수 있다.⁷⁾

4. TRIP형 복합상강의 기계적 성질

본 연구에서 이용한 0.15C-1.53Si-1.5Mn TRIP형 복합상강의 경우 800℃의 이상열처리 온도로 5분간 유지후 380℃의 항온변태온도로 대략 5분간 유지시 페라이트, 베이나이트, 잔류오스테나이트의 미세조직을 얻을 수 있었고, 잔류오스테나이트에 변형을 가하여 TRIP효과를 얻을 경우 대략 1000 MPa의 인장강도와 30 %의 연신율을 얻을 수 있었다.

강의 기계적 성질(높은 강도와 풍부한 연신율의 조화)과 관련하여 TRIP형 복합상강은 인장시험시 매우 우수한 일축연신성질을 보여준다. 이는 TRIP형 강의 변형시 잔류오스테나이트가 변형유기마르텐사이트로 변태함에 따라서 국부적인 변형집중 즉, necking을 지연시키기 때문이다.

TRIP형 복합상강의 인장시험시 준안정상태의 잔류오스테나이트는 소성적으로 변형을 받을 때 변형유기마르텐사이트로 변태될 수 있으며 그 결과 TRIP효과를 야기시킨다. 잔류오스테나이트를 함유한 저탄소 TRIP형 냉연강판은 기존의 다른 강종에 비하여 높은 가공경화 지수와 균일변형율을 나타내므로 높은 강도와 풍부한 연신율을 가지는 우수

한 기계적 성질을 보여준다.

기계적 성질과 관련하여 전래의 TRIP강 역시 높은 강도와 풍부한 연신율의 조화를 보여준다. 강의 기계적 성질을 좌우하는 인성이 [강도 X 연성] 임을 감안할 때, Krauss의 보고에 의하면 Fig 7에서 보여지는 바와 같이 TRIP강의 경우 제시된 다른 고장력강 (Ausforming강, Maraging강, HSLA강)과 인성에 관련하여 비교시 상대적인 우위를 점하게 한다.⁸⁾

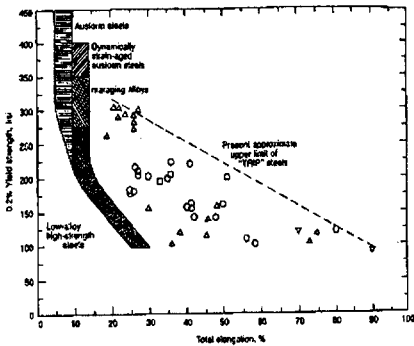


Fig. 7 Range of 0.2% yield stress vers. elongation for some special classes of high-strength steels

5. 결 과

1) 지금까지의 TRIP형 냉연강판에 대한 연구는 오스테나이트를 다량으로 미세조직중에 잔류시키기 위하여 0.25% 이상의 탄소를 함유한 냉연강판에 대하여 진행되어 왔으나, 고탄소계의 경우 용접성이 저하되는 문제가 발생하므로 용접성을 해치지 않고 강도와 연신율의 적절한 조화를 보여주는 저탄소계 TRIP형 냉연강판에 대한 연구가 최근에 진행되고 있다.

2) 고인성 충격흡수 강재로서의 TRIP형 강의 미세조직을 살펴보면, 베이나이트와 마르텐사이트를 함유하는 페라이트 기지 (ferrite matrix) 위에 미세하게 분산되어 있는 준안정상태의 오스테나이트 섬들로 구성되어 있음을 알 수 있다.

3) 최근의 여러 문헌에 의하면 높은 강도와 풍

부한 연신율에 크게 기여하는 최적의 잔류오스테나이트는 항온변태처리시 잔류오스테나이트내에 탄화물 석출을 지연시키는 Si의 기여도에 의하여 얻어진다는 것이 보고가 된다. 따라서 높은 TRIP 효과를 얻기 위하여는 합금설계시 화학성분상 Si 과 Mn의 양을 비슷하게 할 필요가 있다.

4) 이상영역열처리시 ($A_{C1} + A_{C3}$) / 2, 항온변태처리시에는 Ms + 20°C의 온도설정이 높은 TRIP효과를 야기하는 것으로 보고가 된다. 사실상 TRIP형 강의 이단계 열처리(이상영역열처리 + 항온변태처리) 조건의 설정시, 잔류오스테나이트의 체적분율을 최대한으로 하면서 자체 내에 높은 탄소농도를 갖는 방향으로 설정되는 것이 요구되어 진다.

5) 저탄소계 TRIP형 강은 페라이트 + 베이나이트 + 오스테나이트 + 마르텐사이트의 4종류의 복합상이 적당한 체적분율을 갖고 혼재된 강으로서 자동차의 안정성을 고려하여 우수한 인장성질 및 큰 변형률을 기대할 수 있기 때문에 실용적인 면에서 이에 대한 많은 연구가 요구되고 있다.

참 고 문 헌

- 1) I. Tamura : Tetsu to Hagane 56 429, 1970.
- 2) Hidehiro Onodera, Hiroki Goto and Imao Tamura : Pro. ICOMAT '76 327, 1976.
- 3) Richard A. Kot and Volker Weiss : Metall. Trans. 1 2685, 1970.
- 4) V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr and R. Busch : Trans. ASM 60 252, 1967.
- 5) I. Tamura, T. Maki, H. Hato and K. Aburai : J. Japan Inst. Met. 33 1383, 1969.
- 6) P. Jacques, E. Girault, J. van Humbeeck, E. Aernoudt and F. Delannay : Journal de Physique IV 459, 1997.
- 7) H. K. D. H. Bhadeshia and D. V. Edmonds : Acta Metall. 28 1265, 1980.
- 8) G. Krauss : Steels, ASM International., OH, USA 78, 1989.