

고망간 오스테나이트계 강판의 자동차 부품 적용성 연구

정연일[#] · 채수홍¹ · 김소연¹ · 홍승현¹ · 임종대¹

A Study on the Application of High Manganese Austenitic Steel Sheet to Automobile Parts

Y. I. Jung, S. H. Chae, S. Y. Kim, S. H. Hong, J.D.Lim

Abstract

The mechanical properties, press formability and texture of a TWIP steel were investigated. This steel combines both high strength and high ductility due to so called TWIP effect which are related to the microstructural changes. The formation of twins during deformation leads to an increase of its mechanical properties. In this study, the texture and mechanical properties evolutions of a TWIP steel subjected to tensile tests and press trials at room temperature were investigated in relation to the feasibility of the application to automotive body parts.

Key Words : high manganese austenitic steel sheet, TWIP(Twining Induced Plasticity), Twin, Stacking Fault Energy
Dent Resistance, Outer Body Panel

1. 서 론

최근 자동차산업계에서는 경량화를 통한 연비 향상 및 배출가스 저감을 실현하는 것과 탑승자의 안전성 확보를 위한 연구를 활발히 진행하고 있다. 이를 위해 자동차 사에서는 차체부품에 고장력 강판의 적용을 확대하고자 다각적인 연구를 진행하고 있다.

현재까지 개발된 자동차용 고강도 강판은 고강도와 성형성을 요구하는 인장강도 340~440MPa의 내외판용 고용강화 또는 석출경화에 의한 고강도 강판과, 가공성은 낮으나 보다 높은 강도를 요구하는 인장강도 490~1470MPa의 강판으로 크게 구분할 수 있다. 지금까지 인장강도 780MPa 이상의 고강도 강판에 주로 사용되어온 이상조직(Dual phase, DP) 또는 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity, TRIP) 강판은 높은 인장강도를 가지고 있어 경량화와 충돌 안전성 향상을 목적으로 하는 차체보강용 부품에 주로 적용하고 있

나 낮은 연신율 때문에 형상이 단순한 일부 부품에 적용하였다. 만약 고강도강의 성형성이 크게 개선되는 경우 다양한 자동차 부품에 적용이 가능하게 되어 높은 수준의 경량화 및 충돌 안전성을 동시에 확보할 수 있기 때문에 가공성이 우수한 고강도강의 개발이 절실히 요구된다.

고망간 오스테나이트계 강판(high manganese austenitic steel sheet)은 기존 강판의 변형기구인 전위(dislocation)에 의한 가공경화나 상 변형 중 변태를 이용한 TRIP 등과 다르게, 쌍정(twin)을 이용한 변형기구를 포함하기 때문에 초고강도와 고연성을 모두 구현할 수 있는 소재이다. 이러한 변형기구상의 특징 때문에 쌍정유기소성(TWining Induced Plasticity, TWIP)강으로 일컬어지며, 망간을 15~25% 정도 함유하여 보통 고망간강으로 불리기도 한다. 면심입방격자(Face Centered Cubic, FCC)급속인 TWIP 강이 쌍정을 일으키는 주 요인은 낮은 적층결함에너지(Stacking Fault Energy)에 의한 슬립계의 제한 및 슬립의 임계 분해 전단응력의 증가

1. 현대자동차 연구개발총괄본부 금속재료연구팀
교신저자: 현대자동차 연구개발총괄본부 금속재료연구팀,
E-mail: jungyounil@hyundai.com

이며 Fe-Mn-C 계 금속(고망간강)의 쌍정 현상은 적층 결합 에너지가 15~40mJ/m²의 영역에서 잘 발생하는 것으로 알려져 있다. 적층결합 에너지가 이보다 낮을 경우에는 조직 내에 미세립의 ϵ -martensite를 형성하게 되며, 이보다 높을 경우에는 슬립이 주 변형기구로 작용하게 된다.[1] 본 연구에서 사용된 TWIP강의 경우 30mJ/m²의 적층결합 에너지를 가지고 있다.[2]

본 논문에서는 TWIP강의 기계적 물성, 성형성 및 집합조직 분석 등 다양한 측면에서의 분석을 통해 자동차 부품 적용 가능성을 연구한다.

2. 시험방법

2.1 인장시험

인장시험은 Zwick/Roell社의 Z100 10톤 장비를 사용하였다. 시험속도는 탄성구간은 응력 증가율 속도인 11.5 N/(mm²·s), 항복구간은 변형 증가율 속도인 7.5 mm/min, 소성구간은 변형 증가율 속도인 20 mm/min로 시험을 진행하였다. 시험편은 JIS 5호를 사용하였고 가공은 절단면 거친 부분(burr) 발생에 따른 시험오차를 줄이기 위해 방전가공을 하였다.

2.2 십자금형

십자금형은 자동차 강판의 프레스 성형기법에 있어서 나타날 수 있는 다양한 변형 모드를 종합적으로 평가할 수 있는 모델로, 소재의 객관적인 성형성을 평가하기 위한 방법으로 사용하고 있다.

금형은 Fig.1에서와 같은 금형을 사용하였으며 쿠션압 2.0kgf/cm³, 속도 8SPM으로 셋팅된 1000톤 프레스에서 시험을 실시하였다. 프레스유로 강판의 양면에 도포하여 마찰에 의한 영향을 최소화 하였다.

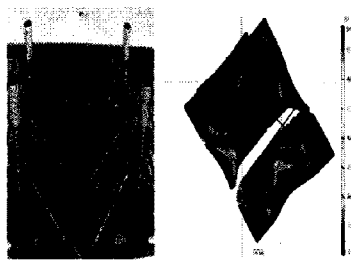


Fig 1. Geometry of Cross shaped punch and die

2.3 집합조직

인장 변형량에 따른 시편을 채취한 후 1 μ m 다이아몬드 페이스트를 사용하여 연마하여 판재 중심부의 극점도를 측정하였다. 극점도는 (111), (100), (110) 세 면을 측정 후 입방정-사방정(Cubic-Orthorhombic) 대칭의 방위분포함수(ODF; Orientation Distribution Function)를 계산하여 집합조직을 비교하였다[3]. 급수전개법을 사용하였으며 최대 전개차수는 22 차($l_{max}=22$)로 하였다. 방위분포 함수를 사용하여 변형량에 따른 주요방위의 부피 분율을 계산하였다.

3. 시험결과

3.1 인장시험을 통한 기계적물성 평가

인장시험 결과를 Table.1와 Fig.2에 표시하였다. TWIP강은 인장강도 1132MPa, 균일 연신율 38%를 모두 확보한 것을 확인할 수 있다. 이것은 유사한 인장강도의 980MPa급 DP강 대비 6배 이상의 연신율을 가지고 있으며, 고신율의 외판용 인장강도 270MPa급 Mild Steel(SPCC)과 비교해서도 강도는 4배 이상, 신율도 16 가량 높은 값을 가지고 있다.

인장 시험중 특이한 점은 다른 자동차용 강판 소재와는 달리 TWIP강은 국부적인 네킹(local necking)에 의한 최대응력이 감소하는 영역이 없고, 하중이 증가함에 따라 곡선이 계속 상승하는 양상을 보이다가, 파단 직전 톱니 모양의 강도 감소와 함께 특유의 소리(tin cry)가 발생한다는 것이다. 이러한 현상은 소성 변형 중에 발생하는 기계적 쌍정이, 소재 결정방위의 변화를 일으켜 더 많은 슬립이 일어나도록 유도하여 국부적인 네킹 없이 변형을 진행하다가, 더 이상 쌍정 및 슬립계가 작동할 수 없는 영역까지 변형되는 경우 쌍정의 적층 및 슬립계 내의 간섭이 일어나는 TWIP강의 특징을 단적으로 보여주는 것이다.

Table 1 Mechanical Property(True Stress-Strain)

Material	YP(MPa)	TS(MPa)	El
MILD	170	372	21
980DP	798	1132	6
TWIP	500	1442	38

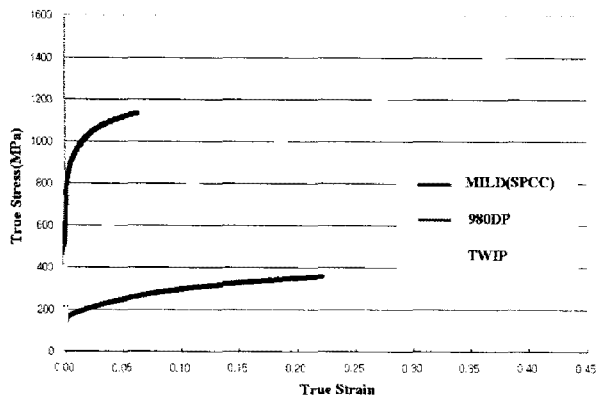


Fig 2. Tensile behaviors of TWIP steel, mild steel and 980 DP steel

3.2. 십자금형을 이용한 성형성 평가

십자 금형 시험결과를 Fig.3에 표시하였다. TWIP 강판은 대부분의 자동차용 강판에 비해 십자금형 프레스 시 성형 높이가 높음을 확인할 수 있고 이를 통해 다른 강종에 비해 높은 성형성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

특히 동일한 강도급인 인장강도 980MPa급 DP 강에 비교해서는 약 2배 이상의 매우 우수한 성형성을 가지고 있으며, 복잡한 형상의 내/외판재에 적용하는 인장강도 270MPa급 IF(SPCC)강과 비교해서도 동일 수준의 성형성을 가지고 있다.

앞서 기술한 것처럼 십자금형 성형성 시험은 강판의 프레스성형시 나타날 수 있는 모든 모드를 구현한다는 면에서 그림에 나타낸 결과는 현재 사용되고 있는 대부분의 강판에 비해 TWIP강은 고강도와 함께 높은 성형성을 확보하여 복잡한 형상의 부품이나 충돌 부재 등에 모두 적용할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

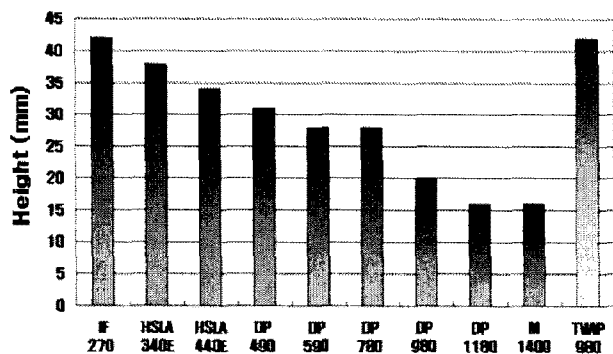


Fig 3. Comparison of Cross Die Press test results of various grades of steel sheets

3.3. 집합조직 분석결과

일반적으로 적층결함에너지가 높은 면심입방격자 구조의 금속을 압연한 경우 Copper{112}<111>, S{123}<634>, Brass{110}<112>로 연결되는 β 형 섬유집합조직이 발달한다[4]. 또한 Goss {110}<001>에서 Brass로 연결되는 α 형 섬유집합조직이 발달하며, 주 방위는 S 혹은 Cu방위이다. 그러나, 본 연구에 사용된 적층결함에너지가 낮은 TWIP강의 경우 위의 β 형 섬유집합조직에서 Cu 혹은 S 방위가 주 방위로 발달하지 않고 Brass 방위가 주 방위로 발달하고 있음을 Fig.4를 통해 확인할 수 있다. Brass 방위는 적층결함에너지가 낮은 금속을 압연한 경우 주 방위로 발달하는 것으로 변형 중 기계적 쌍정(mechanical twin)에 의해 발달하게 된다[5].

변형 초기에는 S 방위가 주 방위로 발달하고 Brass 방위와 Goss 방위 등이 발달하고 있으나 변형량이 증가함에 따라 Brass 방위가 급격히 증가하고 있다. 이는 인장변형에 따라 기계적 쌍정 발생이 많아짐을 보이는 것이다.

Cube 방위의 부피분율은 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있는데, 이는 이 방위가 외부 변형에 대하여 안정한 방위임을 나타내는 것이다[6]. 적층결함에너지가 높은 금속에서 주방위로 나타나는 Cu 방위는 변형에 따라 1%미만으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

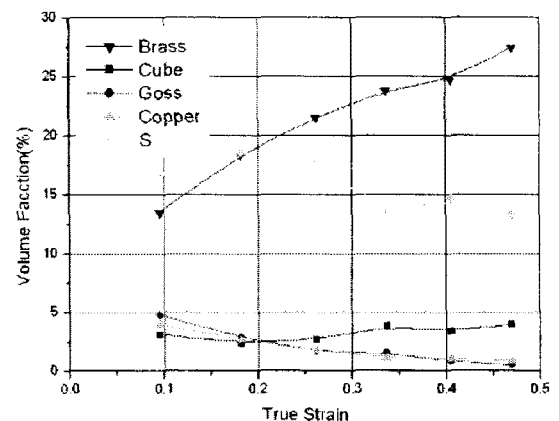


Fig 4. Evolution of the volume fraction of the main texture components (considering 15° of tolerance) as a function of the true strain. The data are calculated from the ODF.

4. 고찰

자동차 외관의 품질을 결정하는 주요 인자로는 내덴트성(dent resistance)이 있다. 덴트는 차량의 운행 중 또는 주차 시 외력에 의해서 미세한 영구 변형이 남아 있는 경우를 말한다. 이는 자동차 외관의 선명성에 큰 영향을 미치므로 외관 품질에 영향을 미친다. 이러한 내덴트성에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으며 재료의 항복강도, 두께 및 형상에 큰 영향을 받는 것으로 보고되었다.[5-6]

최근까지 자동차용 외판으로는 340MPa급의 소부경화강판(bake hardening steel sheet)을 사용하고 있다. 소부경화강판은 차체 외관의 내덴트성을 개선시키기 위하여 적용되기 시작하였으나 최근에는 이를 더욱 개선시키기 위하여 490MPa급 DP강을 이용한 부품 개발까지 연구되고 있다.

외판 형상은 디자인에 의해 결정되기 때문에 형상을 제외하면 일반적으로 내덴트성은 항복강도에 비례하고 두께의 제곱에 비례하는 경향이 있다. 하지만 두께는 증가할수록 내덴트성은 향상되나 중량 측면에서 불리하다. 따라서 성형이 가능하다면 항복강도가 높은 강판을 적용하는 것이 내덴트성을 향상하는 가장 바람직한 방향이다.

아래 Table.2 에서와 같이 TWIP강의 항복강도는 기존 강판에 비해 월등히 높기 때문에 외관 적용 시 두께 증가 없이 내덴트성 향상이 가능하다. 또한 Fig.4 에서와 같이 TWIP강 성형한계도(Forming Limit Diagram, FLD)에 외관 성형량을 측정하여 대입시켰을 때 크랙(crack) 및 네킹(necking) 등의 성형상의 문제없이 부품제작이 가능하다.

Table 2 Mechanical Property(True Stress-Strain)

Material	YP(MPa)	TS(MPa)	EI
SPRC340BH	215	426	20
SPFC490DP	295	604	16
TWIP	500	1442	38

7. 결론

TWIP강은 망간을 15~25% 정도 함유한 고망간강으로 소성 변형 중 슬립과 함께 쌍정에 의한 변형기구를 가지고 있어 고강도와 높은 연신율을 확보한 소재로 집합조직 분석을 통해 그 변형기구와 특성을 확인하였다.

(1) 십자 금형을 이용한 성형성 평가 결과, 기타 다른 자동차용 강판에 비해 높은 성형성을 가지며, 특히 유사 강도인 980MPa급 DP강에 비해 약 2배 이상의 높은 성형성을 가지고 있다.

(2) 변형에 따라 Brass 방위가 주방위로 존재하고 이는 TWIP강의 낮은 적층결함에너지로 인한 기계적 쌍정이 주 변형기구로 작용하기 때문이다.

(3) 자동차 외판에 적용 시 중량 증가 없이 내덴트성 향상이 가능하며, 특히 FLD를 통해 부품 성형상의 문제가 없음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] L. Remy, A. Pineau ; Mater.Sci.Eng., pp99-107, 1977.
- [2] S.K Kim, Development of TWIP Steel for Automotive Application, 2006.
- [3] H. -J. Bunge: Mathematische Methoden der Texturanalyse, Akademie - Verlag, Berlin (1969)
- [4] J. Hirsch and K. Lücke, Acta Metall., 36, 2863 (1988).
- [5] F.J. Humphreys and M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, Pergamon, Oxford (1995).
- [6] I. L. Dillamore and W. T. Robert, Metall. Rev., 10, 271 (1965).

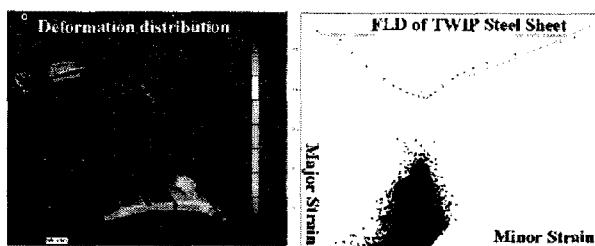


Fig 5. Deformation distribution - FLD of TWIP