[논 문] 한국재료학회지
Korean Journal of Materials Research
Vol. 1, No. 3 (1991)

다상조직강의 기계적 성질과 조직특성

박종현*, 강계명, 송진태
한양대학교 재료공학과, *한국원자력연구소

The Characteristics of Microstructure and the Mechanical Properties of Multi-Phase Sheet Steel.

J. H. Bark*, K. M. Kang, J. T. Song
Dept. of Materials Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791
**Korea Atomic Energy Research Institute, Daejon 305-353*

초 록 본 실험은 페라이트-베이나이트-마르텐사이트로 되는 삼상조직강의 기계적성질과 조직특성과의 관계를 연구하고저 하였다. 이를 위하여 서로 다른 열처리경로를 택하여 페라이트+마르텐사이트에(DP), 페라이트+베이나이트(F+B)의 이상조직강과 페라이트+마르텐사이트에 연질의 베이나이트를 함유시킨 삼상조직강(TP)을 제작하였다. 이들 이상조직강과 삼상조직강의 인장특성, 충격특성 및 stretch-flangeability를 측정하여 각각의 조직구성과 상호연관지어 금속조직학적으로 연구, 조사하였다.

실험결과, TP강의 경우 베이나이트 부피분율의 증가에 따라서 인장강도와 항복강도는 감소하나, 단면수축율 및 강도-연성 조합은 증가하였고, 페라이트와 베이나이트로 구성된 F+B강에서는 항복현상과 높은 항복비를 보였다. 충격특성은 DP강보다 TP, F+B강에서 향상된 충격에너지값을 얻을 수 있었고, hole expanding limit(λ)시험에서도 DP강보다는 TP, F+B강이 우수한 λ값을 나타내었다. 이와같은 기계적성질의 향상은 베이나이트의 영향에 의한 결과로서, 이는 경질의 마르텐사이트보다는 연질의 베이나이트가 페라이트기지와 함께 쉽게 변형이 일어나 연성의 증가에 보다 크게 작용하였기 때문이라 생각한다. 본실험의 경우 27%범위의 베이나이트를 함유하는 삼상조직강에서 좋은 기계적성질과 우수한 stretch-flangeability를 보였다.

Abstract In this study, the relationship between mechanical properties and the effects of second phase in tri-phase steel which was composed of ferrite-martensite-bainite was investigated. In order to obtain different microstructure of ferrite+martensite(DP), ferrite+bainite(F+B), and ferrite+martensite+bainite(TP), different heat treatment has been accomplished. The effects of volume fraction and microstructure of each specimen were studied on tensile property, Charpy impact energy and stretch-flangeability. As the bainite content in triphase steels increased, the tensile strength, and yield strength decreased as well as the reduction of area and strength-uniform elongation increased. However, ferrite-bainite steel had high yield ratio and yield point elongation. The Charpy impact energy of TP and F+B steel was higher than that of DP steel. In addition, the characteristics of hole expanding limit(λ) of TP steel and F+B steel were higher than that of DP steel. These mechanical properties of tri-phase steel have been improved, because bainite could be deformed easily within ferrite matrix. The effect of bainite on ductility in tri-phase steel has been found to be favorable. In this experiment, tri-phase steel contained within 27% bainite volume fraction had good mechanical properties and superior stretch-flangeability.

1. 서 론

근래 자동차차체의 경량화와 더불어 차체강화를 목적으로 개발된 페라이트와 마르텐사이트로 구성된 dual-phase강(이하 DP강)[1-3]은 높은 강도와 우수한 강도-연성조합 및 저항복비를 가져 종래까지 이용되어 오던 HSLA강(high strength low alloy steel)이나 MA강(micro-alloy steel)에 비하여 경제성이 우수한 생에너지재[4-6]로써 각광을 받고 있다.

그러나 DP강은 자동차의 wheel rim과 wheel disk제작등의 복잡한 성형시 성형성(formability)이 좋지 않으며, HSLA강등 동등강종에 비하여 피로강도가 떨어진다는 보고[7]가 있다. 또한 페라이트와 베이나이트로 구성된 조직강(이하 F+B강)은 DP강에 비하여 stretch-flangeability와 피로강도는 우수하나 강도-연성조합은 열세라는 보고[8]도 있다. 이에따라 DP강의 우수한 강도-연성조합과 저항복비를 가지면서 성형성과 피로강도가 우수한 재질에 관한 연구가 최근 진행중에 있으며, 그중 하나가 페라이트-베이나이트-마르텐사이트로 구성된 삼상조직강(tri-phase, 이하 TP강)[7-9]이다.

따라서 본 연구에서는 생에너지재로 유망시되는 다상조직강에 관한 연구의 일환으로써, 종래의 페라이트와 마르텐사이트로 구성된 DP강에 연질의 베이나이트를 함유시킨 삼상조직강을 만들어 각 구성조직에 따른 시료강의 기계적성질 및 stretch-flangeability를 조사하였다. 이를 이상조직강인 DP강과 F+B강의 재반 성질과 비교, 검토하여 이들의 관계를 조직구성과 연관지어 금속조직학적으로 연구·조사하였다.

2. 실 험 방 법

2-1. 시료강의 준비

연구에 사용된 재료는 SCM21강종으로서 그의 성분분석결과는 표 1과 같다.

Table. 1. Chemical composition of specimen.

(SCM21)

composition	C	Cr	Mo	Si	P	S	Mn
wt. %	0.15	1.01	0.22	0.24	0.03	0.02	0.67

이를 그림 1에 나타낸 바와같은 열처리경로에 의하여 시료강으로 준비하였다. 즉 1200℃에서 1시간동안 균질화처리시킨 후 노냉하였고, 노냉 후 상온에서 냉간압연을 행하여 최종두께를 4㎜가 되도록 하였다. 이와같이 압연된 재료를 실험하고저 하는 조직구성으로 만들기 위하여 다음과 같은 경로를 통하여 열처리하였다. 먼저 페라이트와 오스테나이트의 이상영역온도(760℃)에서 1시간 등온변태시킨 후 소입하여 페라이트-마르텐사이트로 구성되는 이상조직강(DP강)을 얻었으며, 앞서와 동일한 이상영역온도에서 1시간 등온변태시킨 후 즉시 420℃의 염욕에 떨어뜨리면서 변태시간을 30초, 90초, 300초 및 1시간으로 각기 달리하여 등온변태[10]시켜 베이나이트의 부피분율이 서로 다른 3종의 삼상조직강(TP강)과 페라이트와 베이나이트만으로 구성된 페라이트-베이나이트조직강(F+B강)을 각각 얻었다. 이상과 같은 열처리경로에 따라 얻은 각 조직강의 시험재를 DP, TPⅠ, TPⅡ, TPⅢ 및 F+B강으로 각각 표시하였다.

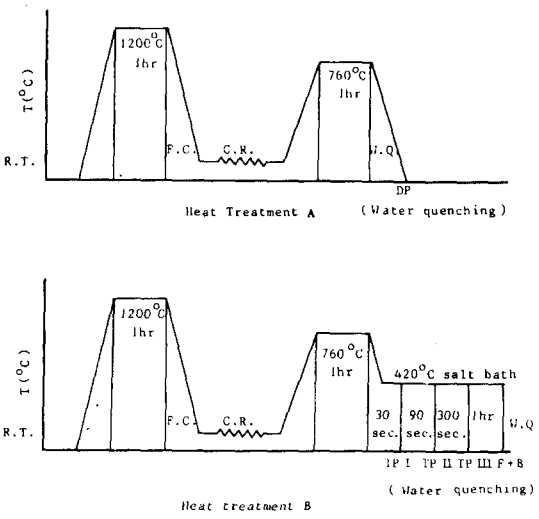

Fig. 1. Schematic diagrams of heat treatment and cold-rolling.

2-2. 인장 및 충격시험

인장시험의 시험편은 ASTM E8-79a에 의거하여 제작하였으며, 그 규격은 그림 2(a)와 같다. 인장시험은 Instron사 만능시험기를 사용하여 상온에서 1㎜/min.의 cross head speed

로 시험하였으며, 25㎜의 gauge length 부분에 extensometer를 부착하여 변형율을 측정하였다.

충격시험은 그림 2(b)에 나타낸 바와같이 ASTM 23-72 Charpy V-*notch* 충격시험편을 제작하여 Tinius-Olsen사의 충격시험기로 상온에서 시험하였다.

2-3. Hole expanding limit(λ)의 측정

stretch-flangeability의 측정은 hole expanding limit(λ)의 시험[11]으로서 측정, 가능하다. 즉 각 시험편의 hole expanding limit(λ)를 구함으로서 시험재의 stretch-flangeability를 비교, 평가할 수 있다. 따라서 본 실험에서도 이 λ의 측정으로서 각 시험재의 stretch-flangeability를 나타내었다. 이들 시험방법을

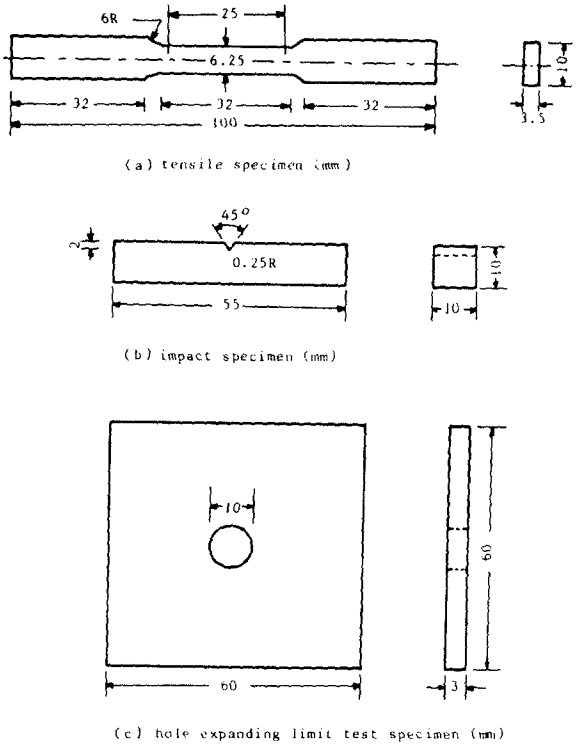

Fig. 2. Schematic diagrams of (a) tensile, (b) impact and (c) hole expanding limit(λ) test specimens.

도식화하여 그림 3에 나타내었다. 즉 지름(Φ) 35㎜, 두께(t) 50㎜인 시험용 die위에 각 시험재의 시편을 올려놓고, 시험편상의 hole에

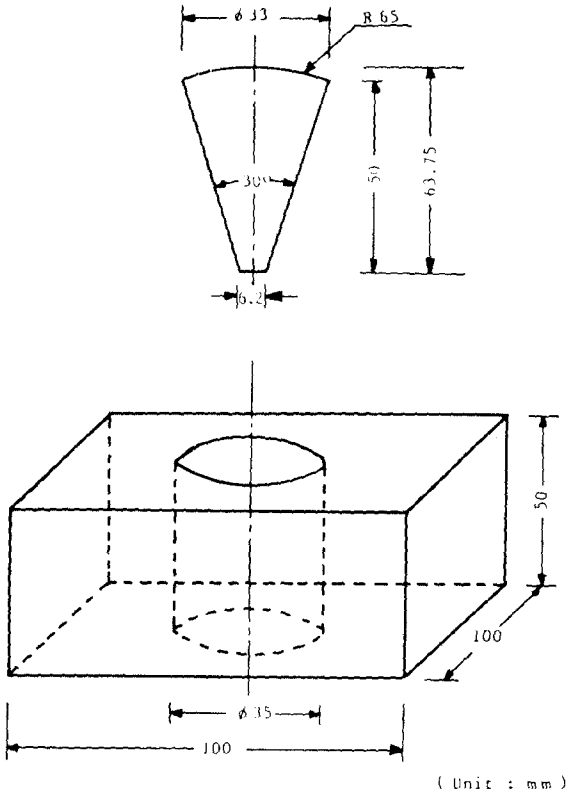

Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus for hole expanding limit(λ) test.

사잇각(top angle)이 30°로 가공된 원추형 펀치를 놓은 다음, 만능시험기를 사용하여 3ton의 가압력으로 상온에서 가압하였다. 각 시험재의 시험편은 그림 2(c)에 나타낸 바와같이 60×60×3(t)㎜인 평판의 중앙에 Φ10㎜인 hole을 가공한 시험편이었다. 실험 후 λ의 값은 아래의 식을 이용하여 구하였다.

$$\lambda(\%) = [(D_f - D_i)/D_i] \times 100$$

where λ : hole expanding limit(%)

D_i : initial hole diameter(10㎜)

D_f : fractured hole diameter

2-4. 조직과 파단면 관찰

그림 1에서와 같이 각기 다른 경로를 따라 열처리된 시험편을 조연마한 후 Al_2O_3분말(0.05μm)을 사용하여 미세연마하여, 이를 3% 나이탈용액에 부식시켜 광학현미경으로 조직을 관찰하였다. 또한 각 시험편의 페라이트, 베이

나이트 및 마르텐사이트의 조직구성을 보다 명확하게 구별관찰하기 위하여, 1% $Na_2S_2O_5$ +4% 피크릭산의 Lepera 부식용액[12]에서 부식시켜 마르텐사이트는 희게, 베이나이트는 검게, 페라이트는 회색으로 구분되게 하여 광학현미경을 사용하여 조직관찰을 병행하였다. 이들 각 시험편의 페라이트와 베이나이트 및 마르텐사이트의 부피분율의 측정은 point counting방법을 이용하여 2,500points를 5회 반복, 측정하여 그의 평균값을 구하였다. 더우기 삼상조직강의 베이나이트형상의 명확한 관찰을 위하여 투과전자현미경(TEM)을 이용하였다. 또한 파단면관찰은 인장시험 및 충격시험을 행한 직후, 각 시험편의 파단면을 주사전자현미경(SEM, JSM-35F)을 사용하여 관찰, 조사하였다.

3. 실험결과 및 검토

3-1. 조직변화에 따른 기계적 성질

그림 4는 각기 다른 열처리경로에 따른 각 시료강의 조직사진으로서 사진 (a)는 나이탈 부식액으로 부식시켜 얻은 DP강조직사진이며, 사진 (b)~(f)는 Lepera용액으로 부식시켜 얻은 각 시료강의 광학현미경조직사진이다. 나이탈로 부식시킨 사진 (a)의 경우 마르텐사이트가 페라이트입계를 따라 globular한

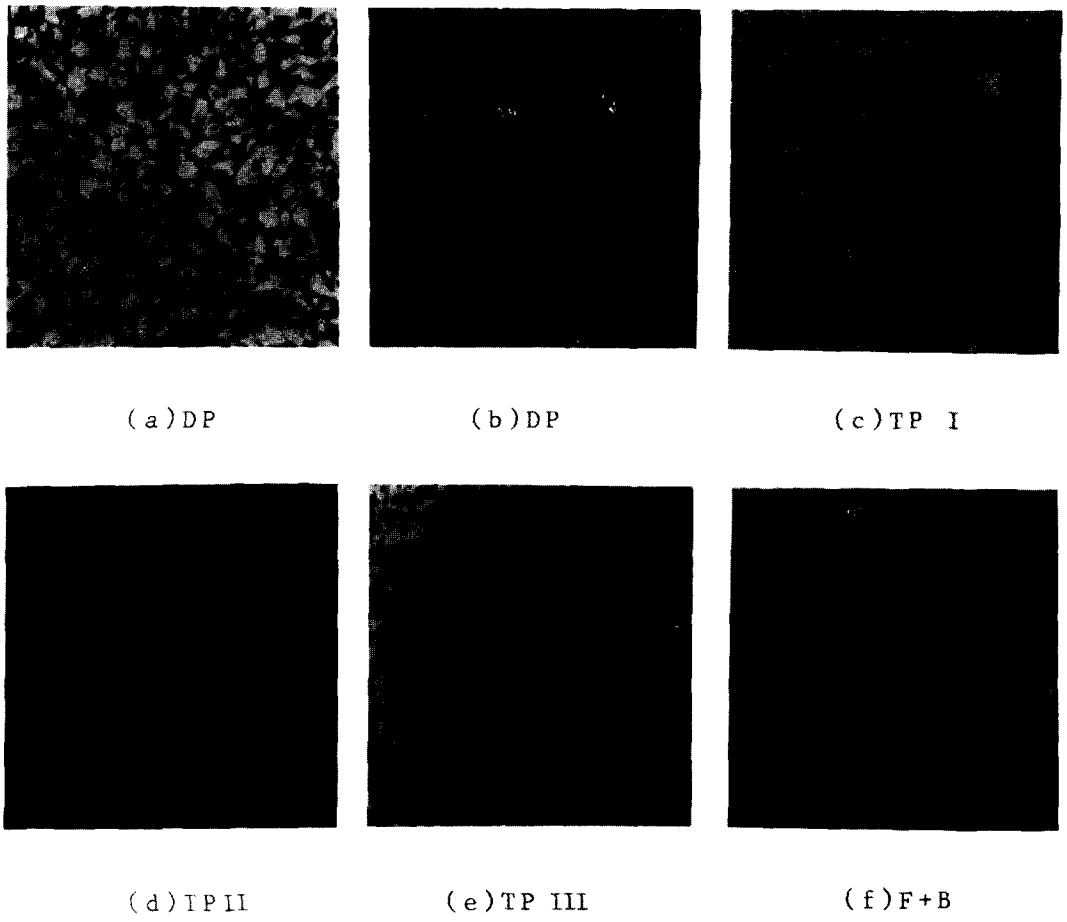

Fig. 4. Optical micrographs of each specimen.(×400) [(a) 3% Nital, (b)-(f) Lepera etchant]

형태로 석출된, 이상영역소둔에 따른 전형적인 DP조직[5]이었다. 또한 TP강과 F+B강 모두 나이탈부식액으로 부식시켜 조직을 관찰하여 보았으나 각 조직특성의 구별이 거의 불가능하였다. 따라서 본문에는 페라이트(회색), 베이나이트(검은색), 마르텐사이트(흰색)의

각 조직이 구별되는 Lepera 부식액으로 부식시켜 얻은 시료강의 조직만을 나타내었다. 먼저 사진 (b)는 앞서 사진 (a)의 DP강을 Lepera부식액으로 조사한 것으로서 마르텐사이트는 회게, 기지조직인 페라이트는 회색으로 구별관찰되었다. 그리고 사진 (b)~(f)에서도 볼 수 있듯이 등온변태시간이 길어짐에 따라 흰색의 마르텐사이트의 부피분율이 감소하며 마르텐사이트의 입자크기 역시 미세하게 석출됨을 볼 수 있다. 더우기 TP강의 경우 베이나이트의 부피분율은 변태시간의 증가와 더불어 8%, 19%, 27%로 베이나이트양이 증가되다가 1시간이상의 등온변태처리후의 조직에서는 35%의 베이나이트로 구성된 F+B강조직으로 관찰되었으며, 이들 각 시료강의 구성조직의 부피분율을 표 2에 나타내었다.

Table. 2. Volume fraction according to phase constitutions of various specimens.

volume fraction	DP	TP Ⅰ	TP Ⅱ	TP Ⅲ	F+B
Ferrite(%)	71	71	70	70	65
Bainite(%)	-	8	19	27	35
Martensite(%)	29	21	11	3	-

그림 5는 TP강과 F+B강의 베이나이트의 형태를 TEM으로 관찰한 사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 본 실험의 베이나이트는 페라이트 lath내에 카바이드가 드문드문 석출된 것과

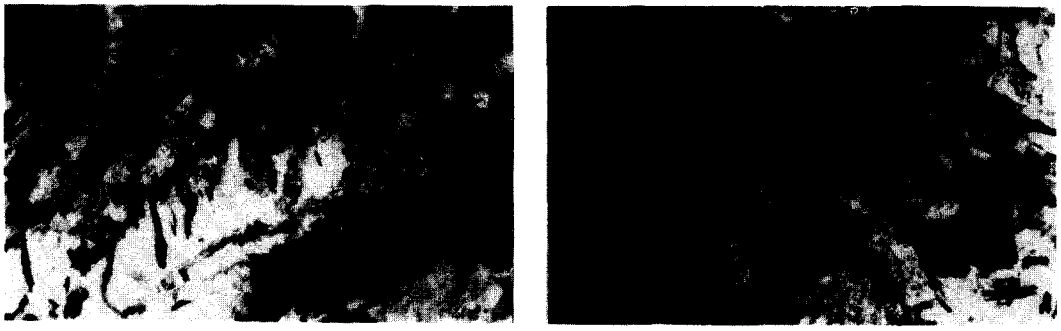

Fig. 5. TEM micrographs of upper bainite in tri-phase steel. (×10,000)

잔류 오스테나이트가 페라이트 lath사이에 존재하는 상부베이나이트[8]이었다.

Table. 3. Tensile properties of various specimens

	DP	TP Ⅰ	TP Ⅱ	TP Ⅲ	F+B
Y. S. (kg/mm²) (0.1% offset)	38.17	36.12	33.55	31.12	35.46
U.T.S.(kg/mm²)	72.70	70.74	67.76	62.35	59.85
El. (%)	23.80	26.15	30.78	33.28	31.41
Y.R.(Y.S./U.T.S.)	0.53	0.51	0.50	0.50	0.59
U.T.S. × El.	1730	1837	2086	2975	1880
R. A.	59.7	62.1	66.2	69.2	68.5

한편 표 2와 같은 조직구성에 따른 각 시료강의 인장시험결과를 표 3에 나타내었다. 이들 인장시험결과에서 볼 수 있듯이 TP강이 DP강에 비하여 강도면에서는 다소 감소하고 있으나, 연성면에서는 오히려 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 인장강도와 항복강도는 DP강이 우수하나, 연신율과 강도-연성조합에서는 TP강에서 좋은 결과를 보였다. 그리고 항복비의 경우 DP강, TP강 모두 0.50~0.53으로 비슷하였으나, F+B강은 0.59로 높게 나타났다. TP강의 경우, 베이나이트 함량이 증가하는 TP Ⅲ강으로 갈수록 항복비가 다소 높았고, 단면수축률은 증가함을 볼 수 있었다. 이와같은 연성의 증가는 경질2상인 마르텐사이트가 연질상인 베이나이트로 치환되면서 이들 베이나이트의 작용에 의하여 연성이 증가한 것으로 생각된다. 이는 Sudo등 [7,9]이 조사한 삼상조직강의 인장특성에 미치는 베이나이트의 영향에 관한 연구결과와도 잘 일치하고 있다. 또한 페라이트와 베이나이트만으로 구성된 F+B강에서는 항복현상과 함께 고항복비와 낮은 강도-연신율조합을 보였는데, 이는 Hayami등[13]의 연구결과에서도 언급되듯이 페

라이트기지내에 존재하는 가동전위(mobile dislocation)에 기인한 것으로서, 이러한 가동전위는 오스테나이트에서 마르텐사이트로 변태되는 과정에서 형성하는 것으로 보고되고 있고, Aichbhaumik등[14]은 연질상의 기지내에 함유되는 경질상의 부피분율의 변화에 따라 인장강도의 변화와 항복현상의 유무가 결정된다고 하였다. 따라서 복합조직강의 경우 항복현상이 나타나지 않으려면 최소한의 경질상이 존재하여야 한다는 것을 고려할 때, 본 실험의 경우 F+B강에서 항복현상이 나타나지만 TP강에서 항복현상이 없었던 점을 생각할 때 베이나이트보다는 마르텐사이트가 주로 경질상으로 작용한 것으로 사료되고, Aichbhaumik의 연구에서도 마르텐사이트를 경질의 제2상으로 설명하고 있다. 따라서 본 실험의 다상조직강중 F+B강은 고장력박강판재료로는 적합하지 않은 것으로 생각된다.

표 4는 각 시료강의 Charpy충격시험결과를 나타낸 도표이다. 본 실험결과 역시 앞서의 인장시험결과와 동일한 경향으로서 DP, TP Ⅰ, TP Ⅱ, TP Ⅲ, F+B강의 순서로 인성의 향상이 나타났다. 이들 역시 경질의 마르텐사이트보다는 연질의 베이나이트가 인성에 보다 효과적인 인자[15]임을 알 수 있게 하며, 이는 지연파괴에 미치는 조직인자의 영향에 관한 Song 등의 연구결과[16]와도 잘 부합되고 있다.

Table. 4. Charpy impact energies for each specimen.

specimen	DP	TP Ⅰ	TP Ⅱ	TP Ⅲ	F+B
Cv(kg · m/cm²)	22.7	24.5	29.6	35.1	37.2

Table 5. Hole expanding limit of each specimen.

	DP	TP Ⅰ	TP Ⅱ	TP Ⅲ	F+B
stretch flangeability(%)	32	57	73	121	132

3-2. stretch-flangeability

성형성(formability)으로서 stretch-flangeability에 미치는 조직인자의 영향에 관하여 비교, 검토하였다. stretch-flangeability의 측정방법인 hole expanding limit(λ)의 실험을 하여 구한 λ값을 표 5에 나타내었다. 이들 λ값의 결과에서 알 수 있는 바와같이 DP강보다는 베이나이트가 함유된 TP강에서 우수한 값을 보이고 있으며, 더우기 F+B강에서 가장 높은 λ값으로 나타났다. 이는 페라이트-마르텐사이트의 DP강에 새로운 상인 베이나이트를 함유시키는 것에 의하여 보다 우수한 성형성을 가지는 것을 의미한다. 또한 이러한 결과는 앞서 인장시험의 결과인 베이나이트 부피분율의 변화에 따라서 나타나는 강도-연신율의 조합비, 단면수축율 등의 변화와도 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다. 이와같이 다상조직강에서의 기계적성질에 미치는 제2상의 영향은 중요한 요인이 된다. 예를 들어 Sudo 등은 다상조직강의 기계적성질에 미치는 조직특성에 관한 연구[9]에서 제2상인 마르텐사이트 또는 베이나이트의 형태나 부피분율등이 파괴거동에 영향을 미치며, 이들 제2상은 파괴시 void의 생성, 성장, 합체에 중요한 인자로 작용한다고 하였다. 즉 기지조직내에서 void의 생성, 성장하기 위한 변형율과 제2상의 크기, 제2상간의 거리 및 경도등에 지배된다고 하였다. 본 실험의 경우에서도 이들 제2상의 형태, 분포상태 및 부피분율등이 재료의 연성 및 기타의 기계적성질에 영향을 주고 있다는 것을 그림 4의 조직관찰과 표 3의 기계적성질결과에서 알 수 있었다. 따라서 베이나이트는 연성특성에 중요한 인자로, 마르텐사이트는 강도특성에 중요한 인자임을 알 수 있으며, 이는 Maki와 Tamura등의 연구보고[7-9,17]와도 잘 일치하고 있다. 결국, 각 시료강의 조직구성이 변형에 대한 저항성과 균열의 발생등에 중요한 역활을 하고 있다고 결론지을 수 있으리라 생각한다.

그림 6은 이들 stretch-flangeability의 실험에 사용된 시험편의 사진으로서 hole의 직경이 베이나이트의 부피분율에 따라 증가함을 볼 수 있다. 이상과 같은 복합조직강에 관한 기계적성질(인장, 충격 및 stretch-flangeability)의 결과로부터 중요한 하나의 결론을 얻을 수 있다. 앞서 F+B강은 DP강에 비하여 인장강도는 열세였으나, 충격인성과 stretch-flangeability에서 뛰어난 특성을 보였다. 이는 페라이트기지내에 석출된 경질2상(마르텐사이트, 베이나이트)의 영향에 의한 것으로 나타나는 두 시료강의 강도, 연성의 결과이다.

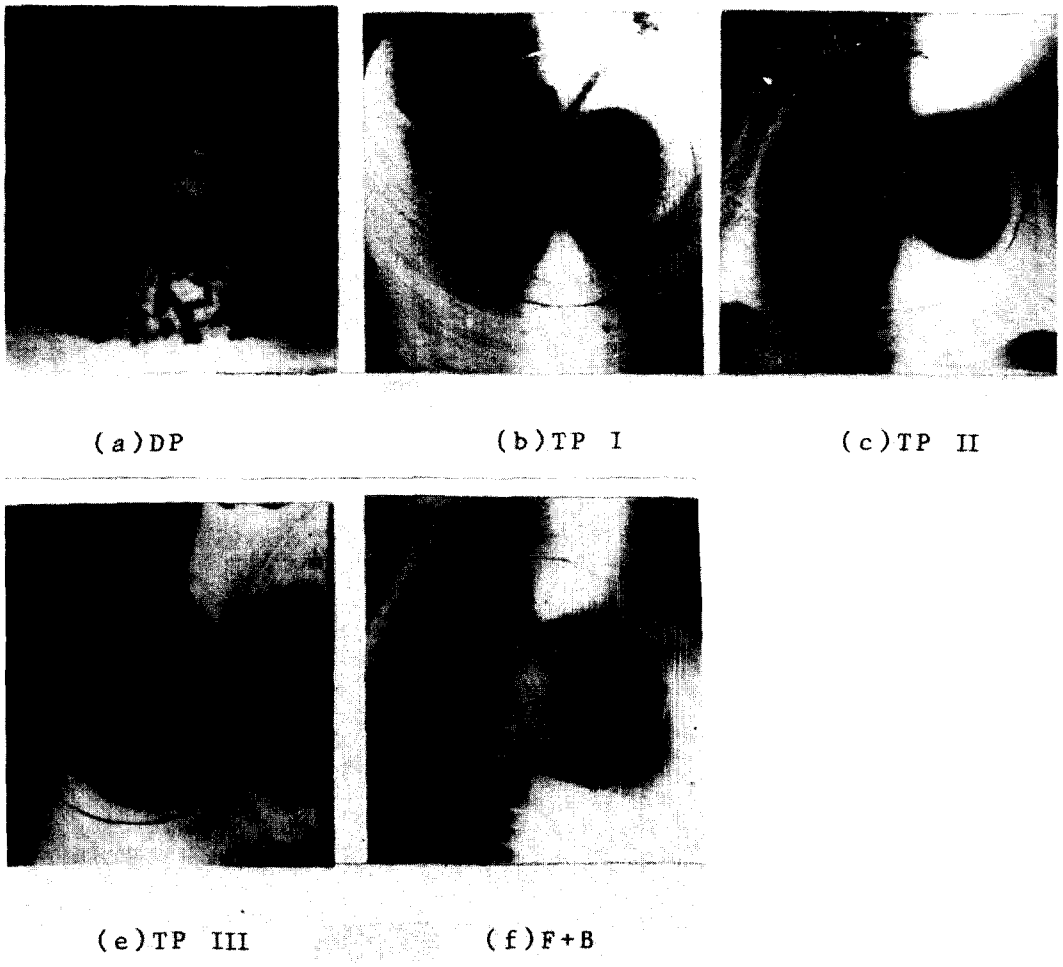

Fig. 6. Photographs of various specimens tested for hole expanding limit(λ).

따라서 페라이트-마르텐사이트조직에 베이나이트의 적절한 도입은 연성의 향상은 물론이거니와 강도의 저하가 거의 없는 새로운 조직강의 제작을 확인시켜 주며, 본 실험에서 제작된 페라이트+베이나이트+마르텐사이트로 구성된 TP강은 우수한 강도-연성 및 성형성을 가지는 새로운 고강도, 고연성 박강판재로 기대된다.

3-3. 시료강의 파괴거동(인장 및 충격)

인장, 충격시험에 따른 각 시험편의 파단면을 SEM으로 관찰하여, 이들의 파괴거동에 미치는 조직인자의 영향에 관하여 검토하였다. 그림 7과 그림 8은 각 시료강의 인장시험과 충격시험 후 파단면을 SEM으로 관찰한 각각의 파단면사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 DP강에서는 dimple과 벽개파면이 혼합된 혼합파면을 나타내었으나, TP강의 경우 TP I 강의 충격파단면에서 일부 벽개파면이 나타나기도 하였다. 그러나 베이나이트부피분율이 증가하는 TP II, TP III, F+B강으로 갈수록 파단면의 형상이 연성파면인 dimple로 구성되어져 있음을 볼 수 있으며, 또한 dimple이 보다 미세하여 지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 경질의 마르텐사이트보다는 이보다 연질상인 베이나이트가 연성의 증가에 기여하여 나타난 결과이라 생각한다. 즉 Sudo[4] 및 Davies등[5]의 보고에서와 같이 베이나이트는 페라이트기지와 함께 쉽게 변형되는 반면에 마르텐사이트는 경질상이기 때문에 페라이트기지와 함께 변형이 쉽게 일어나지 못하므로, 페라이트와 마르텐사이트로 이루어진 DP조직강에서는 페

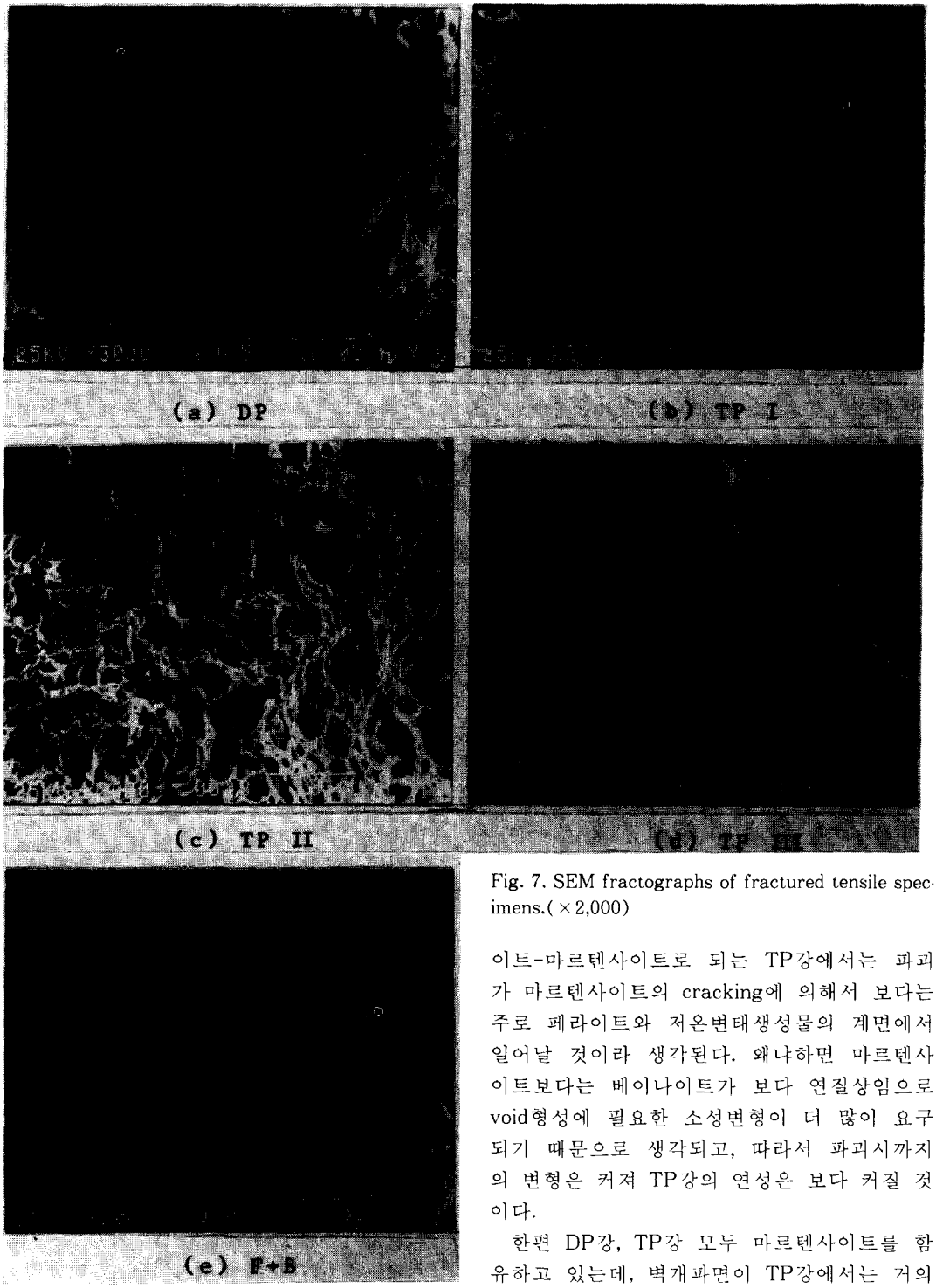

Fig. 7. SEM fractographs of fractured tensile specimens.(×2,000)

라이트와 마르텐사이트의 계면에서 void형성이 쉽게 일어나거나 마르텐사이트 cracking[19]이 발생하여 다소의 벽개파면이 나타나는 것으로 생각된다. 이에 대하여 페라이트-베이나이트-마르텐사이트로 되는 TP강에서는 파괴가 마르텐사이트의 cracking에 의해서 보다는 주로 페라이트와 저온변태생성물의 계면에서 일어날 것이라 생각된다. 왜냐하면 마르텐사이트보다는 베이나이트가 보다 연질상임으로 void형성에 필요한 소성변형이 더 많이 요구되기 때문으로 생각되고, 따라서 파괴시까지의 변형은 커져 TP강의 연성은 보다 커질 것이다.

한편 DP강, TP강 모두 마르텐사이트를 함유하고 있는데, 벽개파면이 TP강에서는 거의 관찰되지 않고 DP강에서만 관찰되는 이유는 여러 인자의 원인이 있겠으나, 마르텐사이트의 부피분율보다는 마르텐사이트의 입자의 크기로 설명할 수 있으리라 사려된다. 즉 DP강

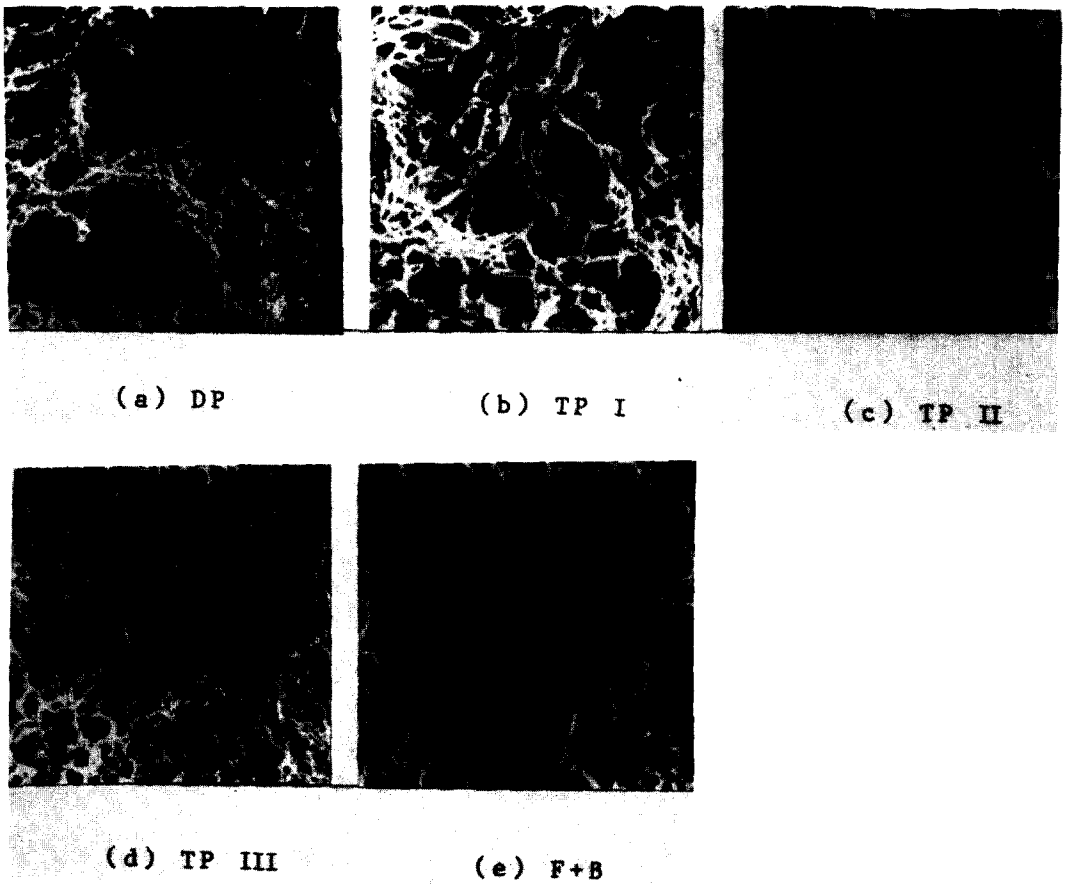

Fig. 8. SEM fractographs of fractured impact specimens. (×1,000)

과 TP강의 현미경조직에 있어서 마르텐사이트상의 크기를 비교하여 보면, TP강에서의 마르텐사이트의 크기가 작고 부피분율이 적을 뿐만 아니라 연질의 베이나이트상이 많은 조직이므로 연성과 단면수축율은 커져, 나아가서는 hole expanding limit(λ)도 증가할 것이라 본다.

4. 결 론

열처리경로를 각기 달리하여 얻은 DP강과 TP강 및 F+B강의 기계적성질에 관한 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 연질의 베이나이트가 경질의 마르텐사이트보다 변형능에 의한 인성의 향상을 가져왔으며, 본실험의 베이나이트는 상부 베이나이트였다.

2) TP강의 충격특성은 DP강에 비하여 베이나이트의 부피분율증가와 더불어 뚜렷한 향상을 가져왔으나, 인장강도 및 항복비는 감소내지는 동등하였다.

3) TP강의 경우 단면수축율의 증가와 강도-연성조합의 향상 및 hole expanding limit(λ)가 증가하였는데, 이는 페라이트기지내의 마르텐사이트상의 형태 및 베이나이트의 영향에 기인한 것으로 사료된다.

4) 베이나이트의 부피분율이 10~27%인 본실험에서는 TP강이 DP강에 비하여 인장과 충격특성 및 stretch-flangeability가 우수하였다.

참고문헌

1. T. Matsuoka and Yamamori, Met. Trans. , 6A(1975) 1613
2. Symposium on Structure and Properties of Dual-Phase Steels, R. A. Kot and J. W. Morris(Eds.), TMS-AIME(1979)
3. T. Tanaka, M. Nishida, K. Hashiguhi and T. Kato, R.A.Kot and J.W.Morries(Eds.),

TMS-AIME, Warrendale(1979) 221
4. M. S. Rashid, SAE Preprint No. 760206, Feb. (1976)
5. J. Y. Koo and G. Thomas, Met. Trans., 8A (1977) 525
6. R. G. Davies, ibid., 9A (1978) 671
7. M. Sudo and T. Iwai, Trans. ISIJ, 23 (1983) 294
8. M. Sudo, S. Hashimoto and S. Kambe, ibid., 23 (1983) 303
9. M. Sudo, M. Higashi, H. Hori, T. Iwai, S. Kambe and Z. Shibata, ibid., 21(1981) 820
10. ASM, Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams, H. E. Boyer(Ed.), ASM Metals Park, Ohio 44073, (1977)10
11. N. Ohashi, I. Takahashi and K. Hashiguchi, J. Jan. Soc. Technol. Plast., 117 (1976) 883
12. F. Lepera, J. Metals, March(1980) 38
13. S. Hayami and T. Furukawa, Microalloying 75 Proceedings, Union Carbide Corp., N.Y., October (1975) 311
14. D. Aichbhaumik and R. R. Goodhart, SAE Paper No. 790010, (1979)
15. S. Hasgimoto, S. Kambe, M. Sudo and Y. Tsugami, SAE Paper No. 820283, (1983) 1166
16. J. T. Song, J. S. Bark, J. of The Research Institute of Industrial Sciences, Hanyang Univ., Vol 19 (1984) 39
17. T. Maki and I. Tamura, ISIJ., 67(1981) 12
18. R. G. Davies, Met. Trans., 9A (1978) 41
19. N. J. Kim and G. Thomas, ibid., 12A (1981) 483