

《論 文》

Fe-31% Ni-0.2% C 합금의 오스폼드 마르텐사이트와 마르폼드 마르텐사이트의 逆變態處理에 의한 強化效果

金炳日

순천대학교 공과대학 금속공학과

Effect of Strengthening by Reverse Transformation of Ausformed
Martensite and Marformed Martensite of Fe-31% Ni-0.2% C Alloy

Byung Il, Kim

Department of Metallurgical Engineering, Suncheon National University

ABSTRACT

In this study, the ausformed martensite and marformed martensite obtained from austenite with various deformation degrees in Fe-31% Ni-0.2% C alloy were transformed to reversed austenite at 510°C by cyclic reverse martensite transformation. The effect of prior deformation, the rapid heating rate of reversion and number of cyclic transformation on the microstructure, mechanical properties of reversed austenite were investigated. The reverse austenite transformation is accomplished by the mechanism of shear type transformation. The structure of reversed austenite formed from ausformed martensite and marformed martensite with high deformation degrees is a fine structure of nearly equiaxed grain containing a high density of dislocation tangles and was largely affected by the prior deformation applied before reversal transformation. The strength of reversed austenite is more increased with of cyclic transformation especially it is strength at the first cyclic transformation. The yield stress of reversed austenite of ausformed martensite is lower than that of marformed martensite.

1. 서 론

마르텐사이트 조직을 급 가열(rapid heating)하여 역변태 시키면 조성의 변화없이 전단형 변태의 오스테나이트가 생성되며, 이러한 역변태 오스테나이트는 순수 오스테나이트보다 한층 강화된다.

따라서 연성과 동시에 높은 강도를 얻기 위하여 수 싸이클에 걸쳐서 반복 연변태 처리를 실시함으로써 마르텐사이트내에 존재하는 많은 전위가 역변태 오스테나이트에 도입되고, 또한 고온에서 마르텐사이트로부터 석출된 탄화물 때문에 역변태 오스테나이트는 순수 오스테나이트에 비교하여 강

화됨과 동시에 역변태 오스테나이트의 안정화가 일어나서 재결정에 대한 저항성이 증가한다.

역변태에 대한 최초의 연구는 Wassermann¹⁾이 마르텐사이트를 재 가열시킨 결과 역변태 오스테나이트는 냉간 가공된 합금에서와 같이 회복, 재결정 및 성장이 일어나서 순수 오스테나이트의 강도에 까지 감소되나, 전단변태에 의한 역변태 오스테나이트의 강도는 순수 오스테나이트의 강도보다 현저하게 증가한다고 보고하였다.

Golovchiner²⁾와 Malyshev³⁾ 등은 이러한 강화의 원인은 역변태 오스테나이트의 안정화에 따른 격자결함과 조직의 미세화에 의한다고 주장하였다. Apple⁴⁾ 등은 Fe-Ni-V-C 합금에서의 역변태에 의해서 도입되는 탄화물의 석출 및 조직변화에 의한 강화를 정량적으로 규명하였으며, Breinan과 Ansell⁵⁾은 오스테나이트 → 마르텐사이트 변태시 Ms 점에 미치는 가공변형의 영향을 연구하였다. Pope⁶⁾는 Fe-30% Ni 합금을 A_d점 이하에서 가공할 경우 마르텐사이트 → 오스테나이트 변태에 미치는 영향과 가공도에 따른 항복응력의 변화를 연구하였다. Koppenaar과 Gold⁷⁾는 Fe-31% Ni 합금의 처녀 마르텐사이트(virgin martensite)에 대한 가공 즉, 마르포밍처리(marforming treatment)에 의한 마르포드 마르텐사이트를 역변태 시켜 역변태 오스테나이트의 조직과 항복응력의 변화를 연구하였다.

본 연구에서는 오스폼드 마르텐사이트와 마르포드 마르텐사이트의 역변태 처리에 의하여 얻어진 역변태 오스테나이트의 조직관찰, 항복응력 및 연성 등을 비교하여 역변태 오스테나이트의 강화기구를 정량적으로 규명하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 시료용해

본 연구에 사용된 합금은 진공 고주파유도로에서 전해철과 전해니켈을 용해 시킨후 Fe-Si 및 Al로 탈산처리 후 90 × 110 × 260(mm)의 금형에 주조하였다. 합금의 화학조성 및 Ms 점은 Table 1에 나타내며, Ms 점은 액체질소와 n-펜탄을 사용하여 계단냉각법에 의한 표면기록의 관찰

Table 1. Chemical Composition(wt%) and M_s of Alloy Used.

C	Ni	Si	Mn	P	S	Fe	M _s (°C)
0.19	31.37	0.021	0.06	0.013	0.0020	Bal.	-106

로 결정하였다.

2.2. 시료의 열처리 및 시편제작

합금 중 성분의 편석을 제거하기 위하여 시료는 머플로에 넣고 Ar 가스 분위기에서 1100°C에서 24시간 균질화 처리 후 1100-1150°C에서 열간압연하였다. 열간압연 후 1100°C에서 24시간 어닐링처리 후 표면산화 및 탈탄층을 제거하고 냉간 가공에 의하여 가공도별 모든 시편의 최종두께가 1.0mm가 되도록 시편의 처음 두께를 조절하여 연삭가공 하였다. 연삭가공된 시료는 Ar 가스 분위기의 튜브형 머플로에 연삭가공시의 응력제거 및 용체화처리를 위하여 1100°C에서 1시간 유지 후 10% 빙염수에 급냉하여 균일한 순수 오스테나이트를 얻었다.

순수 오스테나이트는 각종 가공도(20%, 40%, 60%, 80%)로 상온 압연하여 디폼드 오스테나이트(deformed austenite, DA)조직을 얻었다. 디폼드 오스테나이트조직은 오스폼링처리(ausforming treatment)에 의한 액체질소(-196°C)에서 1시간 심냉처리 하여 오스폼드 마르텐사이트(ausformed martensite, AM)조직을 얻었다.

Fig.1에 오스폼링처리(ausforming treatment)과정을 나타낸다. 처녀 마르텐사이트를 각종 가공도로 상온 압연하여 마르포드 마르텐사이트(marfor-

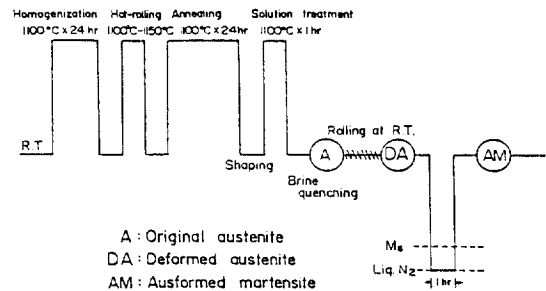


Fig. 1. Schematic process of ausforming treatment.

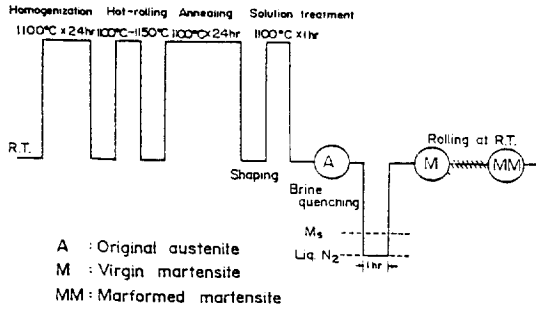


Fig. 2. Schematic process of marforming treatment.

med martensite, MM)를 얻었으며, Fig.2에 마르포밍처리(marforming treatment)과정을 나타낸다.

역변태처리는 시차열분석법(DSC)에 의하여 역변태 완료온도(A_r점)을 측정한 결과 역변태 처리온도를 510°C로 결정하여 고온 염욕에서 실시하였다. 역변태처리에 대한 가열속도는 55°C/sec로 급 가열하여 A_r점 직상의 역변태처리온도 510°C에서 3분간 유지시킨 후 즉시 수냉시켜 역변태 오스테나이트 조직을 얻었으며, Fig.3에 역변태처리과정을 나타낸다.

2.3. 측정실험

역변태처리 후 조직변화와 시편의 전위조직 및 탄화물은 투과 전자현미경과 주사 전자현미경을 이용하였다. 투과 전자현미경관찰용 박판은 과염

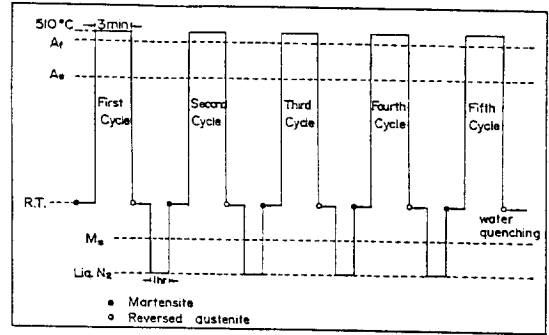


Fig. 3. Schematic process of cyclic reversed austenitic transformation treatment.

소산(20%) + 빙초산(80%)의 전해액에서 전해연마(twin jet polishing)하였다. 인장시험편은 ASTM-E8 형으로 만들어 항복응력(0.2% off-set) 및 연성을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1. 조직관찰

Fig.4(a), (b)는 처너 마르텐사이트를 1 사이클 및 3 사이클 역변태처리한 역변태 오스테나이트의 주사 전자현미경 조직이며, Fig.4(c)는 가공도 40% 오스폼드 마르텐사이트를 3 사이클 역변태시킨 역변태 오스테나이트 조직이다. 역변태 사이클

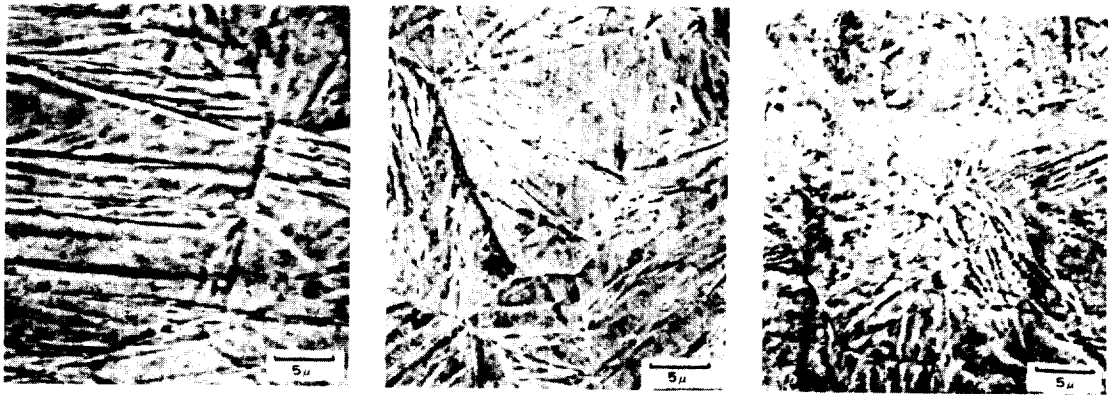
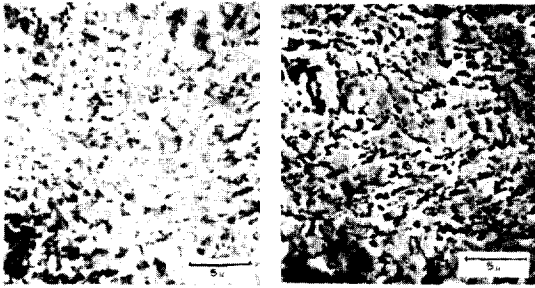


Fig. 4. SEM micrographs of reversed austenite formed with deformation degrees of ausformed martensite in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.



a) 80% 1 cycle b) 40% 3 cycle

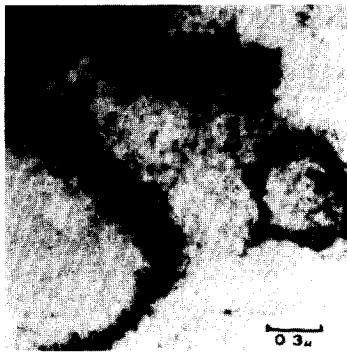
Fig. 5. SEM micrographs of reversed austenite formed with deformation degrees of marformed martensite in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

및 가공도의 증가에 따라 마르텐사이트와 같은 조직이 미세화 되었으며, 마르텐사이트 조직과 같은

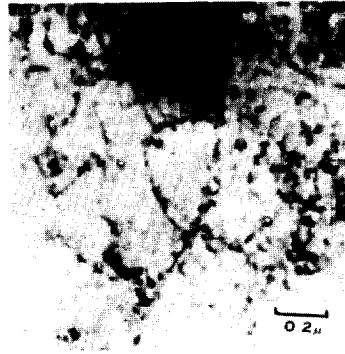
표면기복이 관찰되고 역변태 오스테나이트내에 미세한 탄화물이 석출되어 있다.

Fig.5(a)는 가공도 80% 마르폼드 마르텐사이트를 1 사이클 역변태 시킨 역변태 오스테나이트 조직이다. Fig.5(b)는 가공도 40% 마르폼드 마르텐사이트를 3 사이클 역변태 시킨 역변태 오스테나이트 조직으로 Fig.5(a)보다 역변태 오스테나이트의 결정입계를 따라 탄화물이 석출되고 있으며, 특히 역변태 사이클 수가 많은 Fig.5(b)에서 큰 탄화물이 전위셀 및 결정입계에 석출되어 있다.

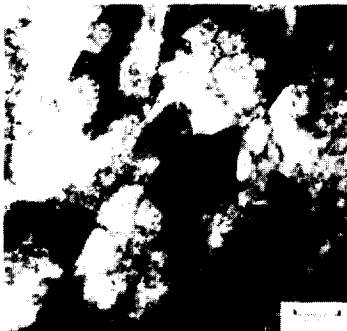
Fig.6는 디폼드 오스테나이트, 역변태 오스테나이트, 반복 역변태 오스테나이트의 전위조직이다. Fig.6(a)는 가공도 80% 디폼드 오스테나이트내에 생성된 전위셀 조직이며, Fig.6(b) 및 (c)는 순수



a) Deformed austenite(80%)



b) Ausformed martensite(0%) 1 cycle



c) Ausformed martensite(0%) 3 cycle



d) Marformed martensite(40%) 3 cycle

Fig. 6. TEM micrographs deformed austenite and reversed austenite formed from ausformed martensite and marformed martensite in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

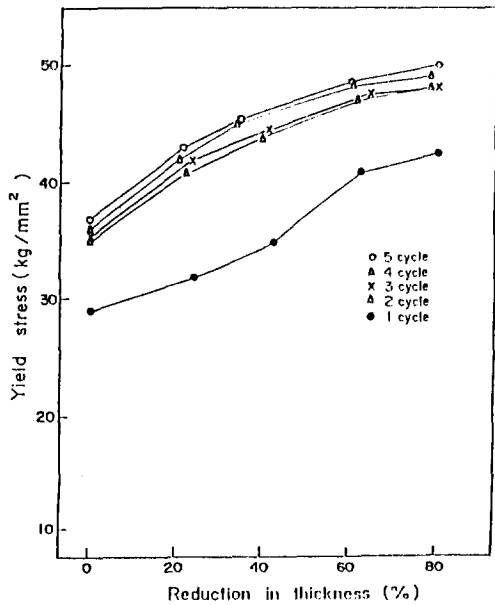


Fig. 7. Yield stress of cyclic reversed austenite from ausformed martensite with deformation degrees in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

오스테나이트를 1 사이클 및 3 사이클 역변태 처리한 역변태 오스테나이트 조직이다. 특히 Fig.6(c)에서 역변태 사이클의 증가에 따라 고밀도 전위가 관찰된다. Fig.6(d)는 가공도 40% 마르폼드 마르텐사이트를 3 사이클 역변태처리시킨 조직으로 Fig.6(c)보다 고밀도 전위가 존재한다.

3.2. 항복응력

Fig.7은 반복 역변태시 가공도에 대한 오스폼드 마르텐사이트로부터 생성된 역변태 오스테나이트의 항복응력을 나타내며, 1~5 사이클 반복 역변태 처리시 역변태 오스테나이트의 항복응력은 가공도에 따라 증가한다. 그 이유는 가공도 0~80%의 오스폼드 마르텐사이트에서 역변태에 의하여 생성된 역변태 오스테나이트는 1 사이클 및 2 사이클 역변태 처리시 오스폼드 마르텐사이트내에 존재하는 고밀도의 전위가 그대로 역변태 오스테나이트에 도입^{8,9)} 되었기 때문이다.

Fig.8은 순수 오스테나이트 및 디폼드 오스테나이트로부터 생성된 오스폼드 마르텐사이트를 역변태사이클에 따른 역변태 오스테나이트의 항복응

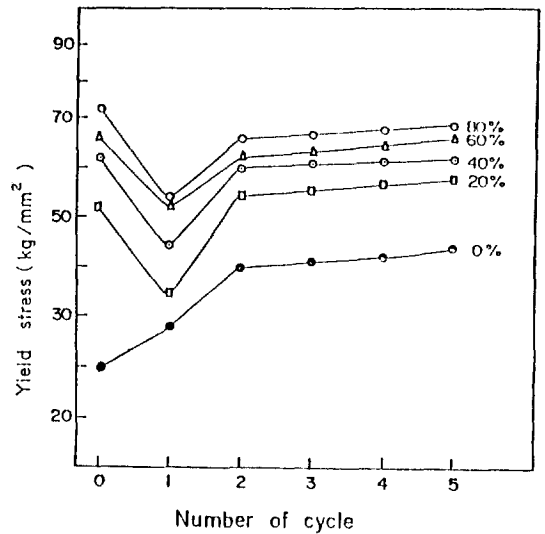


Fig. 8. Yield stress of cyclic reversed austenite formed from ausformed martensite with the number of cycle in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

력을 나타낸다. 역변태전에 가공하지 않은 처너 마르텐사이트로 부터 형성된 역변태 오스테나이트의 항복응력은 2 사이클 역변태까지 현저하게 증가한 후 완만한 증가를 보인다. 역변태전에 가공도 20~80% 오스폼드 마르텐사이트로 부터 생성된 역변태 오스테나이트는 역변태처리 하지 않은 0 사이클 역변태처리로 항복응력이 크게 저하하였다. 이러한 현상은 역변태전에 냉간가공에 의한 가공경화의 영향이 전부 잔류하지 못하고 상당한 양이 소멸되었기 때문이다. 그러나 2 사이클 역변태처리시 다시 강도는 증가하며, 3 사이클 이후부터는 완만한 강도의 증가를 나타낸다. 이것은 역변태에 의하여 도입된 전위와 결정립의 미세화에 의한 역변태 오스테나이트의 강화 현상에 기인한다.

Fig.9는 마르폼드 마르텐사이트에서 생성된 역변태 오스테나이트의 가공도에 따른 항복응력을 나타낸 것이다.

가공도와 역변태 사이클의 증가에 따라 마르폼드 마르텐사이트의 항복응력은 증가하며, 특히 가공도 25%까지 강도의 증가는 현저하고 오스폼드

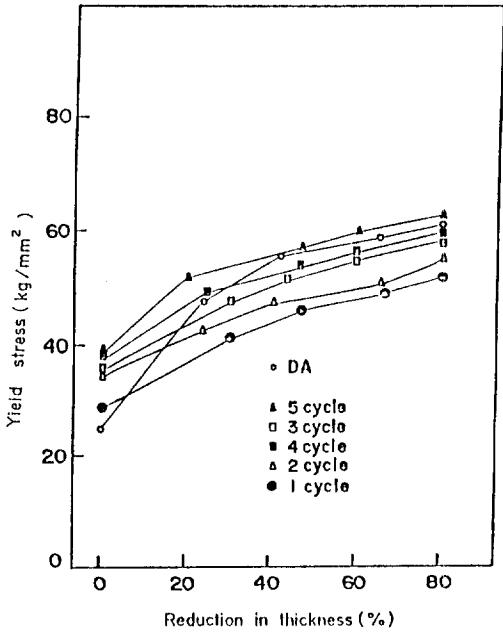


Fig. 9. Yield stress of deformed austenite and cyclic reversed austenite formed from marformed martensite with deformation degrees in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

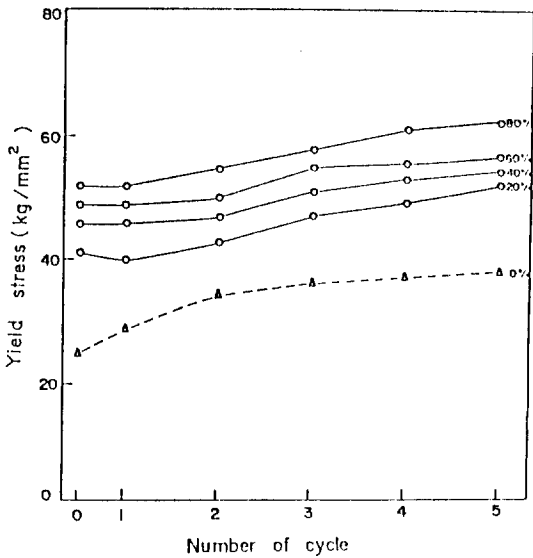


Fig. 10. Yield stress of cyclic reversed austenite formed from marformed martensite with the number of cycle in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

마르텐사이트로부터 생성된 역변태 오스테나이트보다 강화현상이 뚜렷하다.

Fig.10 은 마르폼드 마르텐사이트를 역변태시 역변태사이클에 따른 역변태 오스테나이트의 항복응력을 나타낸다. 1 사이클 역변태에서 Fig.7 과 같이 약간의 항복응력의 저하가 있으나, 2 사이클 이상에서 항복응력은 역변태 강화현상에 의하여 증가한다. 이러한 현상은 역변태처리시 나타나는 전위등 격자결함의 증가 및 결정립의 미세화에 기인된 것으로 사료된다.

오스폼드 마르텐사이트 및 마르폼드 마르텐사이트로부터 역변태에 의하여 생성된 역변태 오스테나이트는 연화현상과 동시에 3~5 사이클 역변태시 약간의 강화현상이 나타나지만 전체적으로 역변태처리에 의한 강화는 크게 기대할 수 없다.

3.3. 연 성

Fig.11 과 Fig.12 는 오스폼드 마르텐사이트와 마르폼드 마르텐사이트를 역변태처리시켜 생성된 역변태 오스테나이트의 역변태 사이클에 따른 연성의 변화를 나타낸다. 연성은 역변태 사이클 및 가공도의 증가에 따라 감소하고 있다. 특히 가공을 하지 않은 처너 마르텐사이트의 역변태에 의하여 생성된 역변태 오스테나이트는 1 사이클 역변

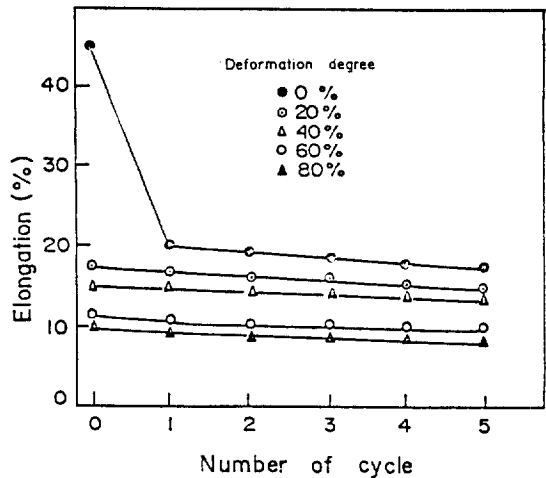


Fig. 11. Elongation of cyclic reversed austenite formed from marformed martensite with the number of cycle in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

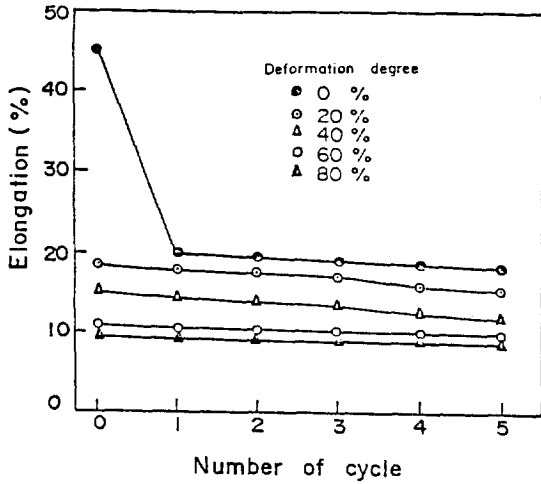


Fig. 12. Elongation of cyclic reversed austenite formed from ausformed martensite with the number of cycle in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

태로 인하여 가장 현저하게 연성이 저하되고, 2 사이클이상에서 연성의 감소는 적다.

4. 고 찰

순수 오스테나이트로부터 생성된 역변태 오스테나이트의 항복응력($\sigma_{0,r}$)은 식(1)로 표시할 수 있다.

$$\sigma_{0,r} = \sigma_0 + \sigma_r \quad (1)$$

σ_0 : 균질화 및 용체화처리에 의한 순수 오스테나이트의 항복응력

σ_r : 단순히 역변태처리에 의하여 증가된 항복응력

순수 오스테나이트의 항복응력(25 kg/mm²)은 역변태에 의하여 생성된 역변태 오스테나이트의 항복응력(29 kg/mm²)으로 증가하였다. 역변태 오스테나이트의 강도증가량(4 kg/mm²)은 이전변형량이 없기 때문에 가공경화는 무시할 수 있으며 변태처리에 의한 전위밀도 증가와 결정립의 미세화 현상에 의한 강화의 조합이다.

순수 오스테나이트가 여러 가공을 받은 오스폼

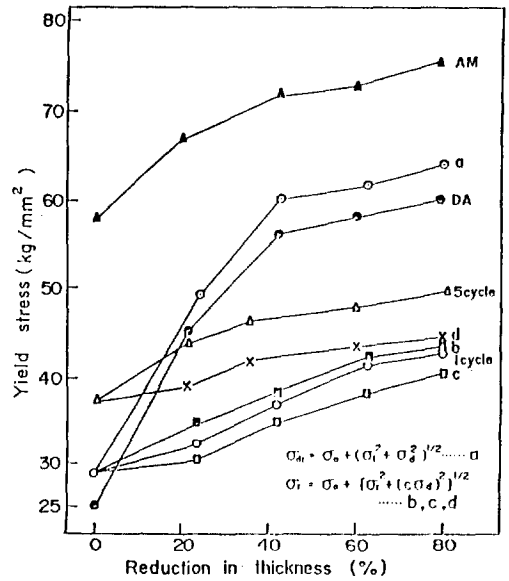


Fig. 13. Yield stress of cyclic reversed austenite formed from ausformed martensite as a function of prior deformation in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

드 마르텐사이트의 역변태처리에 의하여 생성된 역변태 오스테나이트의 강도는 단지 역변태에 의하여 증가된 항복응력(σ_r)과 역변태전 오스테나이트의 냉간가공에 의하여 증가된 항복응력(σ_a)가 각각 독립적일 때와 서로 상호 함수 관계를 갖고 있는 경우로 분류된다.

오스폼드 마르텐사이트로부터 생성된 역변태 오스테나이트의 항복응력($\sigma_{d,r}$)은 σ_r 와 σ_a 가 서로 함수관계가 있으면 식(2)로 표시된다.¹⁰⁾

$$\sigma_{d,r} = \sigma_0 + (\sigma_r^2 + \sigma_a^2)^{1/2} \quad (2)$$

$$\sigma_{0,d} = \sigma_0 + \sigma_d \quad (3)$$

오스테나이트 가공경화량(σ_d)은 Fig. 4로 부티 구할 수 있으므로 소성변형에 대한 강도의 증가량은 식 (3)으로 계산된다. 실험치를 식 (2)에 대입하여 계산된 디폼드 오스테나이트 → 오스폼드 마르텐사이트 → 역변태 오스테나이트의 항복응력은 Fig. 13(a)와 같다. 이것은 1 사이클 역변태 오스테나이트 및 5 사이클 역변태 오스테나이트 항복응력보다 아주 높다. 이와 같이 큰 차이가 나타나

는 이유는 실제적으로 σ_a 가 역변태과정에서 대단히 크게 소멸하기 때문에 식 (2)에 의한 이론적 모델은 합당치 못하다. 또한 σ_0 , σ_r , σ_a 가 각각 독립적이라고 가정하면 식 (4)로 나타낸다.

$$\sigma_{a,r} = \sigma_0 + \sigma_r + \sigma_a \quad (4)$$

식 (4)는 σ_a 에 관련된 모든 전위가 역변태시 전체량이 잔류한다고 가정한 것이나 식 (4)에 의하여 계산된 역변태 오스테나이트의 항복응력은 식 (2)에 의하여 계산된 Fig.13(a)보다 약간 크기 때문에 1~5 사이클 역변태 오스테나이트의 항복응력보다 대단히 크다. 그러므로 σ_a 에 의한 전위, 내부쌍정 및 기타 격자결함 등 많은 격자결함이 역변태과정에서 크게 소멸되고 있다.

따라서 식 (2),(4)에 의하여 계산된 항복응력 곡선으로 부터 디폼드 오스테나이트의 σ_a 가 거의 잔류하지 않고 소멸되므로 역변태 중에 발생하는 전위소멸을 고려해야 하기 때문에 식 (2)를 수정하여 식 (5)로 나타낸다.

$$\sigma_{a,r} = \sigma_0 + (\sigma_r^2 + (C \cdot \sigma_a)^2)^{1/2} \quad (5)$$

C : 상수 ($C \leq 1$)

C 값은 Table 2와 같이 가정하여 Fig.13(b)에 식 (5)에 의하여 계산된 역변태 오스테나이트의 강도를 나타낸다.

C 값을 0.4~0.5로 설정하면 항복응력의 변화는

Table 2. Yield Stress calculated by $\sigma_{a,r} = \sigma_0 + \{\sigma_r^2 + (C\sigma_a)^2\}^{1/2}$ and Selected C Value.

Structures	Ausformed martensite				Marformed martensite			
	24	42	62	80	31	46	64	80
Deformation degrees(%)	24	42	62	80	31	46	64	80
C value	0.4	0.4	0.5	0.5	0.8	0.7	0.8	0.8
σ_a (%)	15	26	37	37	55	55	62	64
σ (kg/mm ²)	34	38	42	43	42	47	51	53

1 사이클 역변태 오스테나이트의 강도보다 약간 크나 거의 동일하다. 그러나 이 경우 σ_r 는 소멸됨이 없이 역변태시 전체가 도입된다는 가정에서 계산된 결과이다. 실질적으로 σ_a 의 잔류량은 Table 2에서와 같이 σ_a 의 0.15~0.37 정도로 작기 때문에 디폼드 오스테나이트의 항복응력보다 작다. 즉 σ_a 의 0.63~0.85가 역변태시 소멸된다. 따라서 Table 2로 부터 C 값은 역변태 이전 가공도의 크기에 영향을 받으며 변태전 가공도의 영향이 σ_r 을 감소시킨다. 따라서 σ_r 에서 $C \leq 1$ 이고, 변태전 가공량의 함수일때 C, σ_r 로 대치할 수 있으므로 식(6)의 이론적 모델을 생각할 수 있다.

$$\sigma_{a,r} = \sigma_0 + (C \cdot \sigma_r)^2 + (C \cdot \sigma_a)^2)^{1/2} \quad (6)$$

Table 3으로 부터 1 사이클 역변태 오스테나이트

Table 3. Yield Stress Calculated by $\sigma_{a,r} = \sigma_0 + \{(C'\sigma_r)^2 + (C\sigma_a)^2\}^{1/2}$ and C Value, Strengthening Effect of 1 and 5 Cycle Reversed Austenite.

Structures	Reversed austenite from ausformed martensite								Reversed austenite from marformed martensite							
	1 cycle				5 cycle				1 cycle				5 cycle			
Deformation degrees(%)	24	42	62	80	21	35	60	80	31	46	64	80	20	46	60	80
σ_a (%)	15	26	37	37	34	30	34	35	55	55	62	64	65	55	55	67
$(\sigma_r + \sigma_a) / \sigma_a$ (%)	35	37	49	52	94	69	71	70	75	68	74	76	125	94	92	103
σ_r (%)	20	13	12	15	60	39	37	34	20	13	12	11	60	39	37	34
$\sigma_r / \{(\sigma_r + \sigma_a) / \sigma_a\}$ (%)	57	33	25	29	64	56	52	49	27	19	17	15	48	41	40	33
C'(from σ_a)	0.15	0.26	0.37	0.37	0.34	0.30	0.34	0.35	0.55	0.55	0.62	0.64	0.65	0.55	0.55	0.69
σ by $C'=1$ (kg/mm ²)	31	34	38	39	39	40	42	44	37	43	45	48	43	47	48	53
$\Delta\sigma$ (kg/mm ²)	1.3	3.1	3.4	3.4	5.0	6.1	6.1	6.3	3.3	3.6	3.6	3.6	7.3	7.5	7.7	8.2

트의 강화량은 σ_a 의 0.63~0.85 정도가 역변태에 의하여 소멸되므로 저가공도에서는 σ_r 에 의한 강화현상이 크며 가공도가 증가할수록 σ_a 에 의한 강화현상이 크게 나타남을 알 수 있으며 σ_r 에 의한 강화는 적으므로 $C = 1$ 로 가정하고, σ_a 에 의한 강화량을 고려하여 가공도에 따라 $C = 0.15 \sim 0.37$ 로 하여 계산한 결과를 Fig.13(c)에 나타낸다. 강도 계산치는 Table 2의 1 사이클 역변태 오스테나이트보다 작다. 따라서 Table 3의 항복응력의 실험치와 계산치와의 차이($\Delta\sigma$)는 결정립 미세화에 의한 강도증가이며, 저 가공도에서 결정립 미세화에 의한 강화는 적으나 가공도가 커질수록 결정립 미세화에 의한 강화는 증가한다.

Table 3에 오스폼드 마르텐사이트의 반복 역변태시 생성된 5 사이클 역변태 오스테나이트의 가공도에 따른 항복응력을 나타낸다. 1 사이클 역변태 오스테나이트와 달리 5 사이클 반복 역변태시 킴으로써 역변태 사이클의 증가에 따라 저가공도에서는 σ_r 와 σ_a 에 의한 강화의 복합 효과가 나타난다. 전체 가공도에서 5 사이클 역변태로 σ_a 의 소멸은 0.65~0.7 정도이며, 역변태사이클의 증가에 따라 저가공도에서 σ_a 가 증가하고, 고가공도에서 σ_a 는 약 0.35 정도로 포화치에 도달한다.

Fig.10(d)는 Table 2와 식 (6)에 의하여 계산

된 5 사이클 역변태 오스테나이트의 항복응력이다. 역변태 사이클의 증가에 따른 결정립 미세화에 의한 강화는 증가하며 특히 저가공도에서 역변태 사이클의 증가에 따른 결정립 미세화에 의한 강화가 현저하다.

이상의 오스폼드 마르텐사이트의 역변태 1 사이클과 5 사이클 역변태 오스테나이트의 항복응력에 대한 강화효과를 종합하여 Table 4에 나타낸다. 역변태전 시편이 받은 가공도 즉, 저가공도와 고가공도에 따라 역변태시 강화기구와 1 사이클과 5 사이클 역변태 오스테나이트에서 역변태 사이클에 따른 서로 다른 강화기구가 역변태 강화효과에 기여하고 있다.

처녀 마르텐사이트를 냉간 가공한 마르폼드 마르텐사이트를 역변태처리에 의하여 생성된 역변태 오스테나이트의 강도는 역변태에 의하여 증가된 항복응력(σ_r)과 역변태이전의 처녀 마르텐사이트의 냉간 가공에 의하여 증가된 항복응력(σ_a)이 상호 관련되어 마르폼드 마르텐사이트의 σ_a 가 소멸하고 있음을 Fig.9에 나타낸다. 따라서 $\sigma_r = 1$ 및 C 값을 Table 2와 같이 설정하고 식 (5)에 의하여 계산된 항복응력은 Table 2로 나타내며 1 사이클 역변태 오스테나이트보다 약간 크다. 따라서 처녀 마르텐사이트의 가공에 의한 σ_a 가 약 0.8 정도가

Table 4. Comparison of Strengthening Effect between 1 and 5 Cycle Reversed Austenite.

Structures	Reversed austenite from ausformed martensite		Reversed austenite from marformed martensite	
	20	80	20	80
Deformation degrees(%)				
1 cycle	1) σ_a 의 강화 소멸 2) $\Delta\sigma$ 에 의한 결정립 미세화 미소	1) σ_a 의 강화 소멸 2) $\Delta\sigma$ 에 의한 결정립 강화 증가	1) σ_a 의 강화 소멸 2) $\Delta\sigma$ 에 의한 증가는 고가공도에서와 같이 일정	1) σ_a 의 강화 소멸 미소 2) 가공도에 관계없이 결정립 미세화에 의한 강화 증가
5 cycle	1) σ_r , $\Delta\sigma$ 에 의한 강화 증가 2) 가공도에 따라 σ_a 에 의한 강화일정 3) 사이클 증가에 따라 σ_r 에 의한 강화 증가	1) σ_r , $\Delta\sigma$ 에 의한 강화 증가 2) 가공도에 따라 σ_a 에 의한 강화일정 3) 1 사이클보다 $\Delta\sigma$ 에 의한 2배증가	1) 역변태 사이클 증가에 따른 σ_r 에 의한 강화 일정 2) 2 사이클보다 $\Delta\sigma$ 에 의한 강화는 2배 증가	1) 가공도와 역변태 사이클에 따라 σ_r 에 의한 강화추가 2) 결정립 미세화에 의한 강화는 일정하나 1 사이클 보다 1.5 배 정도 증가

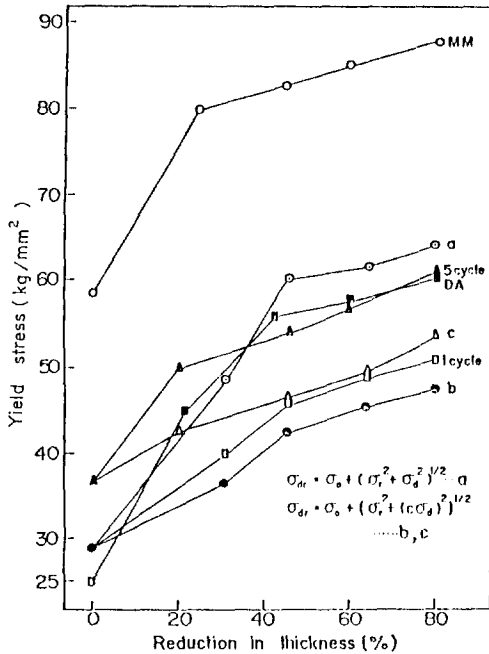


Fig. 14. Yield stress of reversed austenite formed from marformed martensite as a function of prior deformation in Fe-31% Ni-0.2% C alloy.

역변태 오스테나이트에 도입되고, σ_d 의 약 0.2 정도가 소멸되었기 때문에 오스폼드 마르텐사이트의 역변태시 생성된 역변태 오스테나이트의 강도보다 한층 크다.

Table 3에 σ_d 를 고려한 1 사이클 역변태 오스테나이트에 대한 항복응력을 나타내며, 이것을 도시하면 Fig.14(b)와 같다. 마르폼드 마르텐사이트의 역변태시 생성된 1 사이클 역변태 오스테나이트에서 σ_d 의 소멸은 오스폼드 마르텐사이트의 역변태경우보다 작다. 즉 σ_d 의 0.55~0.65 정도가 잔류하고 있다. 한편 가공도에 관계없이 결정립 미세화에 의한 강화는 가공도에 따라 거의 일정하고 오스폼드 마르텐사이트로부터 생성된 역변태 오스테나이트보다 약간 우세하다. 5 사이클 역변태 오스테나이트의 σ_d 에 의한 강화량은 1 사이클 역변태 오스테나이트와 거의 같으나 역변태사이클의 증가에 따른 σ_r 의 강화가 1 사이클 역변태 오스테나이트의 경우보다 약 2 배 정도 증가한다.

Table 4에 Table 3의 마르폼드 마르텐사이트의 1 사이클과 5 사이클 역변태처리에 의하여 얻어진 역변태 오스테나이트 항복응력에 대한 강화효를 종합적으로 나타낸다. 오스폼드 마르텐사이트의 역변태시 생성된 역변태 오스테나이트 보다도 마르폼드 마르텐사이트로부터 생성된 역변태 오스테나이트의 강화효과는 주로 σ_d 에 의한 강화에 의하여 약 2 배정도 크며, 결정립 미세화에 의한 강화도 약간 크다.

5. 결론

Fe-31% Ni-0.2% C 합금에서 오스폼드 마르텐사이트와 마르폼드 마르텐사이트의 역변태처리시 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 오스폼드 마르텐사이트와 마르폼드 마르텐사이트를 급가열시켜 역변태 시키면 역변태사이클 및 가공도의 증가에 따라 martensite-like structure 가 미세화 되고, 표면거북이 나타난다.
- 2) 역변태 오스테나이트는 역변태 사이클의 증가에 따라 고밀도 전위가 존재함을 알 수 있다.
- 3) 오스폼드 마르텐사이트의 역변태 오스테나이트는 1 사이클 역변태처리시 이전 가공경화량이 현저하게 소멸하고 사이클수의 증가에 따라 격자 결함과 결정립 미세화에 의한 강화효과가 나타난다.
- 4) 마르폼드 마르텐사이트의 역변태 오스테나이트는 역변태처리시 이전 가공경화량의 소멸은 적 으며 오스폼드 마르텐사이트보다 역변태 처리에 의한 역변태 오스테나이트의 강도가 크다.

참고문헌

1. C.Wassermann, Arch Eisenhütten : 6(1982) 347
2. Y.M.Golovchiner and Y.D.Tyapkin : Problems of Metallography and the Physics of Metal, Fourth symposium, Moscow 141(1955)
3. K.A.Malyshev, N.A.Borodina and V.A.Mir Melstein : Trudy Inst, Fiz Metal, Metalloved, Accad Nauk, USSR.,UrL. FILIAL 29(1958)

339

4. C. Apple and G. Krauss : Met, Trans., 2(1985) 1971
5. G. S. Ansell and E. M. Breinan : Met, Trans., 1 (1970) 1785
6. L. E. Pope : Met, Trans., 3(1971) 2151
7. E. Gold. T. J. Koppennal : Met, Trnas., 3 (1972) 2965
8. G. Krauss and M. Cohen : Met, Trans. Soc, AIME(1965) 224
9. G. Krauss : Acta Met., 11(1963) 499
10. T. J. Koppennaal and Kuhlman-Wilsdorf : App. Phys. Left., 4(1964) 59