

技術解説

잔류오스테나이트의 제어방법

Methods for Controlling Retained Austenite

진 상 화

삼천리열처리주식회사

1. 서 론

잔류오스테나이트(이하 γ_R 로 약기한다)가 켈칭강의 기계적특성질에 커다란 영향을 준다는 것은 잘 알려져 있다. 여기서는 γ_R 의 생성원인, γ_R 에 미치는 합금원소, 오스테나이트(γ)화온도, 냉각방법, 서브제로처리 등의 영향에 대해서 기술하고 아울러 γ_R 의 정량적인 콘트롤을 도모하기 위한 방법과 대책에 있어서도 언급하고자 한다.

2. 잔류오스테나이트의 생성원인

강을 A_{c3} 혹은 A_{c1} 이상의 온도로 가열하여 오스테나이트로 변태시킨후 빠른속도로 냉각하면 오스테나이트는 마르텐사이트(이하 M 으로 약기)로 변태한다. 이것이 켈칭조작이다.

γ 로부터 M 로 변태를 개시하는 온도를 M_s 점, 종료하는 온도를 M_f 점으로 칭하고 있으나 이들 온도는 냉각속도와는 전혀 관계가 없고 또 일반적으로 $M_s \sim M_f$ 온도구간내에서는 냉각을 정지하면 M 변태도 멈춘다고하는 특성을 가지고 있다.

이 M_s 점, M_f 점은 강의탄소함유량(C%)에 의해 크게 지배된다. 그림 1은 탄소강에 있어서 이 관계를 나타낸 것⁽¹⁾이고 M_s 점 및 M_f 점은 두쪽 모두 C량의 증가와 더불어 강하하고 M_f 점은 약 0.6% C 이상에서는 상온이하로 내려가 있다. 이때문에 상온까지의 켈칭에서는 오스테나이트가 몇 %인가는 미변태상태 그대로 잔류한다. 이것이 γ_R 라고 하는 것이다.

그림 2는 켈칭탄소강중에 함유되어져 있는 γ_R 량과 탄소량과의 관계⁽²⁾를 나타낸 것이다.

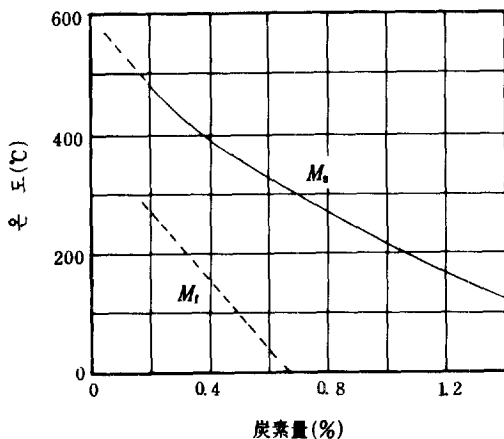


그림 1. M_s , M_f 와 탄소량과의 관계

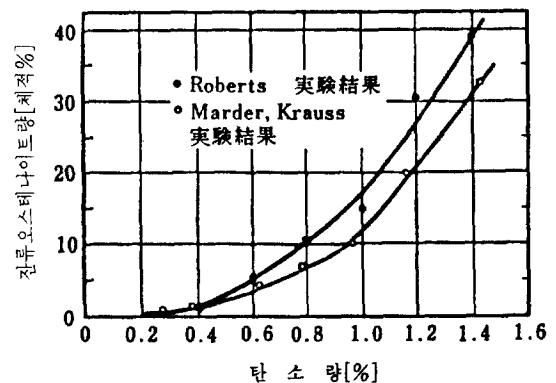


그림 2. 잔류오스테나이트와 탄소량과의 관계

3. M_s 점에 미치는 합금원소의 영향

M_s 점은 탄소량뿐만 아니라 다른 합금원소에 의해서도 커다란 영향을 받는다.

이것에 대해서는 보통 퀴칭의 경우 다음의 실험식⁽³⁾이 쓰여지고 있다.

$$M_s(^{\circ}F) = 930 - 540(\%C) - 60(\%Mn) - 40(\%Cr) - 30(\%Ni) - 20(\%Si) - 20(\%Mo)$$

이것을 $^{\circ}C$ 로 환산하면 다음과 같이 된다.

$$M_s(^{\circ}C) = 499 - 300(\%C) - 33(\%Mn) - 22(\%Cr) - 17(\%Ni) - 11(\%Si) - 11(\%Mo) \quad (1)$$

또, 이 M_s 점과 γ_R 량과의 사이에는 후술하는 바와같이 밀접한 관계가 있고 일반적으로 M_s 점이 낮아짐에 따라 γ_R 량은 증가한다.

또한 침탄질화와 같이 표면에 C 외에 N가 침입하면 그 부분의 M_s 점은 대폭 저하된다. M_s 점에 미치는 N의 영향은 식 (1)에서 대략 $-250(\%N)$ 로 보여진다.

4. M_s 점 및 γ_R 량에 미치는 γ 화 온도의 영향

퀴칭가열시의 γ 화 온도도 γ_R 량에 커다란 영향을 준다. 그림 3은 그 한가지 예⁽⁴⁾를 나타낸 것으로 M_s 점은 일반적으로 γ 화 온도의 상승과 더불어 강해진다. 이것은 주로 γ 화 온도의 상승과 함께 탄화물이 γ 중에 점차적으로 고용하여 γ 의 탄소농도를 증가시키는 것에 기인하는 것으로 생각되어진다.

따라서 γ_R 량도 γ 화 온도에 의해 크게 영향을 받아 그림 4에 그 예⁽⁵⁾를 나타낸 것처럼 C량이 많은 강일수록 다량의 γ_R 를 생성한다. 또한 γ 화 유지시간의 증가는 γ 화 온도의 상승과 거의 동일한 영향을 주기때문에 장시간의 γ 화도 역시 γ_R 량을 증가시킨다. 단, 여기서 주목해야할 점은 수냉보다도 유냉쪽이 γ_R 량이 많다는 것이다. 이것은 후술하는 바와같이 냉각속도도 또한 γ_R 량에 영향을 미치는 것을 나타내주는 것이다.

5. γ_R 량에 미치는 냉각법의 영향

M 변태는 앞에서도 기술한 바와같이 일반적으로 냉각중에만 일어나고 냉각을 중지하면 변태진행도 정지한다. M_s

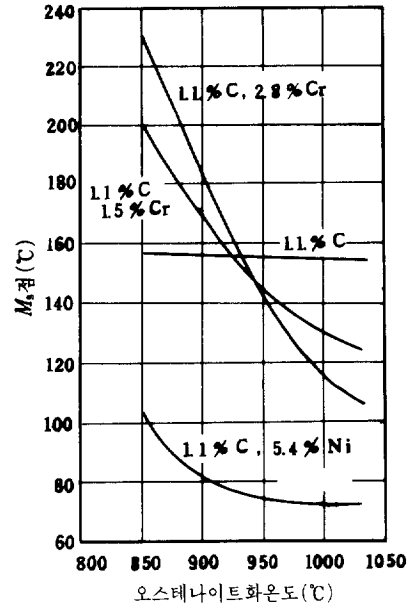


그림 3. M_s 점과 γ 화 온도의 관계

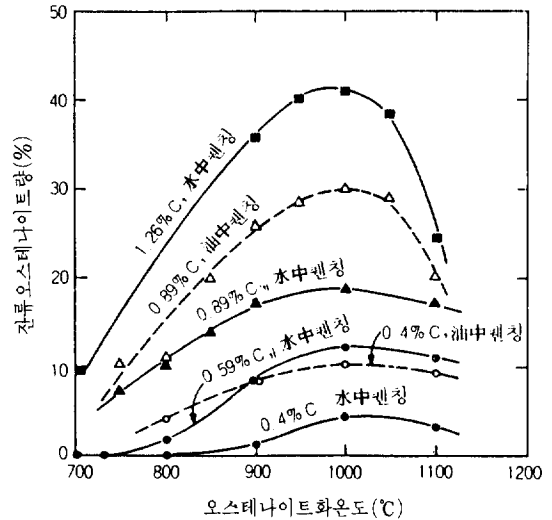


그림 4. γ_R 량과 γ 화 온도와의 관계(수냉과 유냉)

$\sim M_s$ 의 M 변태구간내에서 냉각을 일시 멈추고 변태진행을 정지해 놓으면 γ 가 안정화하여 그 후의 M 변태가 일어나기 어렵게 된다. 이 현상을 γ 의 안정화라고 부른다. 그림 5는 그 하나의 예(각온도로 30분 유지)⁽⁶⁾를 나타낸 것이나 γ 의 안정화정도는 일반적으로 냉각을 정지하고 있는 시간이 길수록 크고 또 냉각정지온도가 낮을수록 크다.

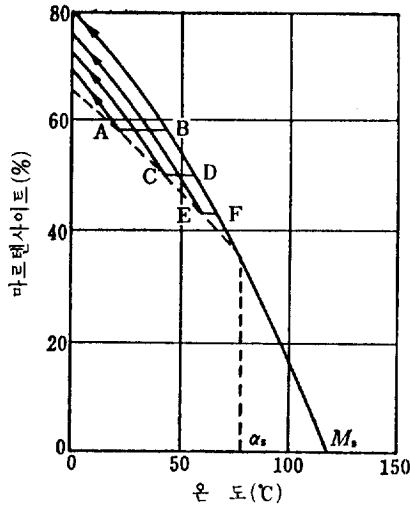


그림 5. 마르텐사이트 생성량과 냉각중단 유지온도 및 시간과의 관계

그러나 고 C-Cr강 등에서는 M_s 점 이상의 높은 온도에서 냉각을 정지해 놓아도 γ 의 안정화가 일어나고 M_s 점이 내려가 γ_R 량이 많아진다. 또 등온변태 등에 의해 베이나이트(이하 B로 약기)가 일부 생성되어도 안정화가 촉진된다. 그림 6은 퀴칭후 상온유지시간이 서브제로 처리 후의 γ_R 량에 미치는 영향⁽⁷⁾을 나타낸 것이다. 상온유지 시간이 길수록 γ_R 는 안정화하여 M 화하기 어려운 것을 알 수 있다.

그림 7은 γ_R 에 미치는 냉각속도의 영향⁽⁸⁾을 나타낸 것이나 완전한 퀴칭조작이 얻어지는 냉각범위(약 600°C/s 이상)에 있어서는 냉각이 낮은 쪽이 γ 가 안정화하기 때문에 γ_R 량은 증가한다. 일반적으로 유냉쪽이 수냉쪽보다도 γ_R 가 많은 것은 이 때문이다.

또 퀴칭크랙이나 퀴칭변형을 방지하기 위하여 인상퀴칭(적당시간 수냉후 냉각이 다 되기전에 물에서 끄집어 내 공냉하는 조작)이나 마르템퍼링처리(마르퀴칭이라고도 하며 M_s 점 부근의 온도로 유지되어 있는 염욕, 유욕등에 급냉한 후 집어내어 공냉하는 조작)등의 계단냉각법이 흔히 사용되지만 이와같은 냉각조작에 의해서도 γ_R 의 안정화가 일어나 γ_R 량이 증가한다.

6. γ_R 량에 미치는 서브제로 처리의 영향

γ_R 량을 감소시키는데는 서브제로 처리가 가장 효과적이다. γ_R 량과 M_s 점(°C) 및 냉각정지온도 T(°C)와의 사이에

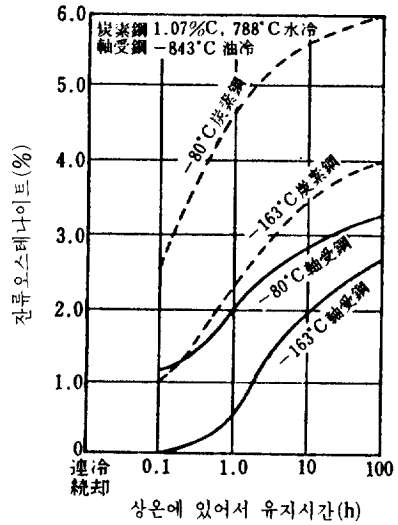


그림 6. 서브제로 처리후의 γ_R 량에 미치는 퀴칭후 상온유지의 영향

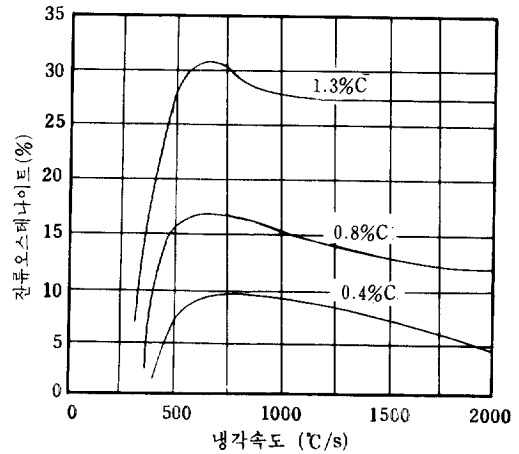


그림 7. γ_R 량과 퀴칭냉각속도와의 관계

는 다음의 관계가 있는 것을 알 수가 있다.

$$\gamma_R = \exp\{-0.011(M_s - T)\} \quad (2)$$

이것을 그림으로 나타내면 그림 8과 같이 된다. 공식강($M_s \approx 225^\circ\text{C}$)에 있어서 보면 γ_R 량은 100°C에서는 약 25%, 실온(약 20°C)에서는 약 10%, -30°C에서는 약 6%, -80°C에서는 약 3%, -180°C에서는 약 1%로 된다.

M_s 점은 전술(3. M_s 점에 미치는 합금원소의 영향)의 실험식 (1)으로부터 추정할 수 있기때문에 이 식 (2) 혹은 그림 8을 써서 서브제로처리온도를 정하므로써 임의의 γ_R 량

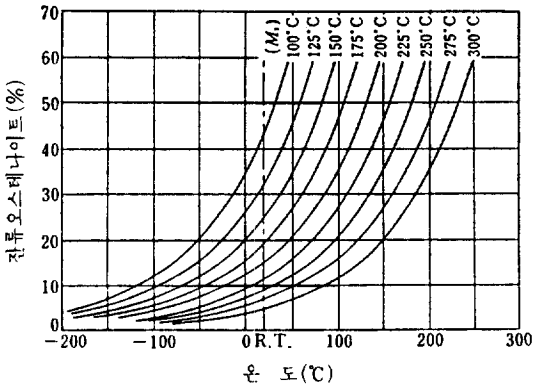


그림 8. γ_R 량과 M_s 점 및 냉각정지 온도, 서브제로처리 온도와 의 관계

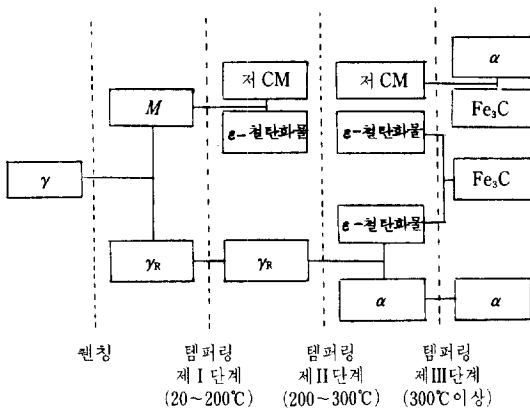


그림 9. 퀵칭 및 템퍼링에 의한 조직변화의 개념도

을 얻는 것이 어느 정도 가능하게 된다.

또한 서브제로서처리는 전술 그림 6에도 나타낸 것처럼 퀵칭직후에 하는 쪽이 γ_R 량을 감소하는 정도가 크거나 효과적이다. 서브제로처리 전에 실온으로 방치하거나 템퍼링을 실시하거나 하게되면 γ_R 가 안정화하기 때문에 동일온도로 서브제로처리해도 γ_R 량은 많아진다.

7. γ_R 량에 미치는 템퍼링의 영향

γ_R 량은 템퍼링에 의해서도 감소한다. 그림 9는 템퍼링에 의한 조직변화의 개념도⁽¹⁰⁾를 나타낸 것이며 γ_R 는 템퍼링의 제II단계 (200~300°C)에서 B(ϵ -철탄화물+ α)로 변태하고 약 300°C 이상에서는 γ_R 는 소멸한다.

그림 10은 그 예⁽¹¹⁾를 나타낸 것으로 템퍼링온도 160°C

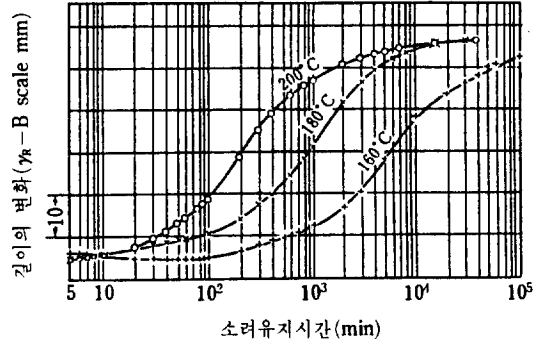


그림 10. 템퍼링(제II단계)에 의한 γ_R 의 베이나이트로의 변태 팽창

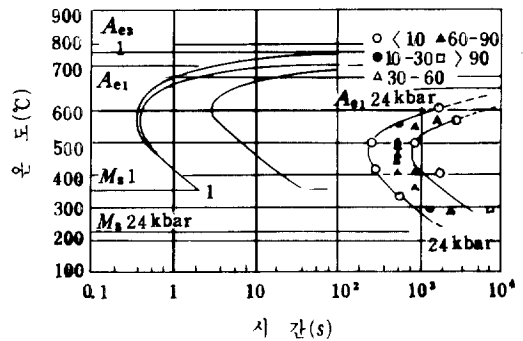


그림 11. M_s 점 및 등온변태에 미치는 압력의 영향

표 1. M_s 점에 미치는 응력의 영향

合金의 種類	應力의 種類	M_s 의 變化(°C)
Fe-20%Ni-0.5%C	一軸引張	+15
	一軸壓縮	+10
70%Fe-30%Ni	靜水壓	-8.5

에서는 등온유지 약 2시간후, 180°C에서는 약 30분후, 200°C에서는 약 10분후에 γ_R 로부터의 B에의 변태가 개시하고 있다. 그러나 완전히 $\gamma_R \rightarrow B$ 변태가 종료하기 위해서는 200°C에서도 약 300시간 이상을 필요로 하는 것을 알 수 있다. 따라서 저온템퍼링(통상 160~180°C가 많이 사용됨)에서는 거의 γ_R 는 감소하지 않는 것으로 생각해도 좋다. 이와같이 저온템퍼링으로 γ_R 가 B로 분해하지 않은 경우(혹은 일부 분해한다)에는 γ_R 는 현저하게 안정화되어 그 후의 서브제로처리에서는 M화하기 어려워진다.

표 2. γ_R 의 제어방법일람표

조 건		γ_R 량		이 유
		다	소	
화학성분	C, Mn, Cr Ni 및 N	다	소	M_s 점이 저하하기 때문. 특히 N은 영향이 크기때문에 침탄질화 등의 경우 주의가 필요
γ 화	온 도	고	저	γ 화를 고온, 장시간 실시함에 따라 탄화물 등이 γ 중에 많이 고용되기 때문, 온도의 영향폭이 크다.
	시 간	장	단	
냉각조작	냉 각	유 냉	수 냉 보통소입	$M_s \sim M_f$ 간을 통과하는 냉각속도가 늦어질수록 γ 의 안정화가 진행, 마르텐사이트화하기 어렵게 된다. 또, 대형부품은 냉각속도가 느리기때문에 γ_R 량이 증가한다.
	처리방법	인상퀵칭 마르템퍼		
질량의 영향		대형부품	소형부품	
서브제로처리	온 도	고	저	처리온도가 낮을수록 $\gamma_R \rightarrow M$ 가 진행된다.
	조 작	실온방치후 템퍼링 후	퀵칭직후	퀵칭후 실온으로 장시간 방치하거나 템퍼링하면 γ_R 가 안정화한다.
템퍼링	온 도	저	고	템퍼링이 고온, 장시간이 될수록 $\gamma' \rightarrow$ 베이나이트변태가 진행된다. 이 변태는 약 200°C부터 개시한다. 온도의 영향이 크다.
	시 간	단	장	
응력의 영향		정수압	인장응력등	$\gamma_R \rightarrow M$ 변태에 있어서 변형의 방향을 조장하는 응력이 걸리면 변태는 진행하기 쉬워진다. 반대의 경우는 변태는 억제된다.

8. γ_R 에 미치는 응력의 영향

M 변태는 팽창변태이나 이 변태에 의한 변형을 조장하는 방향으로 응력이 작용하면 변태는 일어나기 쉬워지고 M_s 점은 상승하여 γ_R 는 감소한다. 반대로 변형을 억제하는 방향으로 응력이 작용하면 M_s 점은 강하하고 γ_R 량은 증가한다. 표 1은 M_s 점에 미치는 응력의 영향⁽¹²⁾을, 또 그림 11은 M 및 베이나이트변태에 미치는 압력의 영향⁽¹³⁾을 각각 나타낸 것이다.

9. 결 론

표 2는 이상의 여러 항목에을 묶어서 일람표를 만든 것

이다. γ_R 량의 컨트롤법으로는 서브제로처리가 가장 효과적이고 특히 보통의 퀵칭일 경우에는 식 (1) 및 식 (2) 혹은 그림 8을 써서 γ_R 량을 어느 정도 정량적으로 추정하는 것이 가능하다.

인용문헌

- (1) Metals Handbook, ASM (1948), 264.
- (2) 不二越熱處理研究 Group : 알고싶은 열처리, p.152 (1980).
- (3) A.G.Guy : Physical Metallurgy for Engineers, p.295, Reading, Masschusetts, Addison-Wesley (1962).
- (4) (社) 日本熱處理技術協會 : 熱處理 Guide Book (응용편), p.121 (1984).

- (5) 日本鐵鋼協會編：鋼의 熱處理(基礎와 作業標準), p.98, 丸善 (1965).
- (6) W.Harris : Trans. AIME, 180 (1949), 447
- (7) 金子秀夫：金屬熱處理原論, p.145 丸善 (1967).
- (8) (7)과 동일, p.144.
- (9) D.P.Koistinen, R.E.Marburger : Acta. Met., 7 (1959) 58.
- (10) M.Mentser : Trans. ASM. 51 (1959), 517.
- (11) 飯島一昭：鐵道技術研究報告, No.856 (1973), 26.
- (12) J.R.Patel, M.Cohen : Acta. Met., 1 (1953), 351.
- (13) J.G.Nilan : Trans, AIME, 239 (1967), 898.