

論 文

18 Ni 마르에이징 강의 기계적 성질에 미치는 Mo 첨가량의 영향

김 학 모 · 김 인 배 · 박 세 윤
부산대학교 공과대학 금속공학과

Effect of Content on the Mechanical Properties of a 18 Ni Maraging Steel

Hak-Mo Kim, In-Bae Kim and Se-Yoon Park
Dept. of Metallurgical Engineering, Pusan National University

ABSTRACT

Effects of Mo content and aging conditions on the amount of retained austenite and mechanical properties of 18 Ni maraging steels were investigated.

Maraging steels were fabricated with variation of Mo content, 3, 5, 7, 9% and heat treated by austenitizing at 840°C for 1 hour and then aged at 480°C for 0.5~100 hours.

It was found that the amount of retained austenite after aolution treatment was negligible up to 5% Mo. 8 and 11 volume percents of retained austenite were obtained with 7 and 9% Mo respectively. The maximum hardness and yield strength without great loss of impact toughness were attained in the range of 4~8 hours of aging time at 480°C with 5% Mo. It was concluded, as a result, that the optimum Mo content for the good combination of strength and toughness is to be 5% Mo.

1. 서 론

마르에이징 강은 높은 강도와 파괴인성을 겸비한 특수합금강으로 1950년도 말에 개발되어¹⁾ 고강도를 요구하는 공업용 특수볼트, 너트 및 항공기, 로켓트, 우주선의 부품에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다.

마르에이징 강은 초기에 20 Ni 및 25 Ni 강의 개발로 공업화 되었으나, 이들 강의 저인성문제로 인하여 Co와 Mo을 다량 첨가하고 Ni 함량을 18% 수준으로 줄임으로서 문제점을 개선한 18 Ni 마르에이징 강이 개발되었다^{2,3)}.

일반적으로 마르에이징 강은 800~980°C에서 용체화 처리한 다음 공기중에서 냉각하면 b.c.c lath 마르텐사이트를 형성하고 이것을 450~550°C에서 시효하면 마르

텐사이트 변태로 생긴 전위 및 lath 경계에 Ni₃Mo 및 Ni₃Ti 등의 석출물이 형성된다⁴⁻⁶⁾

일반 마르에이징 강에는 Co가 7~9% 함유되어 있으나, 1980년경에 Co의 품귀로 가격이 상승되면서, Co 함유량을 축소 또는 타원소로 대체시키기 위한 연구가 시작되었으며, 이후 마르에이징 강에 미치는 합금원소의 영향에 대한 재검토 및 연구가 활발히 수행되고 있다. 이와 관련하여 Mo 첨가에 관한 연구도 보고^{7,8)}되고 있으나, 국내에서는 고강도 마르에이징 강 생산의 초기 단계로서 합금원소의 영향에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Mo량의 변화에 따른 기계적 성질의 변화를 시효후의 잔류 오스테나이트량의 변화를 기본 변수로하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 시편제작

본 연구에 사용된 시료는 합금원소중 Al과 Ti의 산화를 방지하고 비금속 개재물을 최소화하기 위한 진공 고주파 유도용해로를 이용, 약 10^{-5} Torr의 진공에서 용해주조 하였으며, 25 kg의 강괴로 주조한 시편은 강괴의 전 표면을 충분히 절삭한 후 스테인레스 강판으로 밀봉하여 1,200°C에서 12시간 균질화처리한 후 열간단조하여 15m/m×60m/m×2,000m/m의 시편을 제작하였으며, 초음파 탐상에 의한 결함유무를 검사한 후 시험편으로 사용하였다. 이와같이 제조한 시험편은 840°C에서 1시간 용체화처리하였으며 시효처리는 480°C에서 0.5~100시간까지 시간을 변화시켜 수행하였다.

Table 1은 본 연구 시료의 화학조성을 나타낸 것이고 Table 2는 열간단조 조건을 나타낸 것이다.

2.2. 경도시험

Rockwell(Tokyo testing machine, RH-3 NR)경도계 (C-scale)를 이용하여 Mo량 및 시효시간에 따른 경도변화를 측정하였다.

2.3. 인장시험

시편은 Fig.1(a)와 같이 ASTM E8, 6.25mm 직경 시편이며, 사용한 인장시험기는 Amsler Universal testing machine(Germany, cap. 30ton)으로서, 10 ton

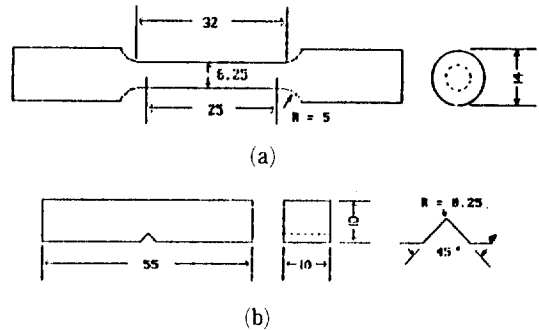


Fig.1. Standard specimen geometry.

- (a) Tension test specimen(Unit : mm)
- (b) Impact test specimen(Unit : mm)

load cell을 이용하여 2mm/min으로 인장하였으며, Mo량 및 시효시간에 대해 항복강도는 0.2% offset 법으로 구했다.

2.4. 충격시험

시편은 Fig.1(b)와 같이 Charpy V notch type JIS 4호 시편이며, 사용한 충격시험기는 Amsler impact tester(Germany, Cap. 500 J)로서 각 Mo량 및 시효시간에 대해 -40°C에서 충격시험을 실시하였다.

2.5. 잔류 오스테나이트량의 측정

잔류 오스테나이트 측정은 X-ray diffractometer (Shimadzu사, model : XD-3 A)를 이용하여 Mo량 및 시효시간에 따른 오스테나이트량을 α 와 β 의 적분 intensity 비로서 측정하였으며, Mo target, Zr filter, 30KV, 15mA, 2,000 Cps 조건하에서 조사하였다.

Table 1. Chemical Composition of Specimens (wt %).

No.	Alloying element (wt %)									
	Ni	Co	Mo	Ti	C	Si	Mn	S	P	Al
1	17.5	9.0	3.0	1.0	0.01	0.05	0.05	0.001	0.005	0.1
2	17.5	9.0	5.0	1.0	0.01	0.05	0.05	0.001	0.005	0.1
3	17.5	9.0	7.0	1.0	0.01	0.05	0.05	0.001	0.005	0.1
4	17.5	9.0	9.0	1.0	0.01	0.05	0.05	0.001	0.005	0.1

Table 2. Hot Forging Conditions.

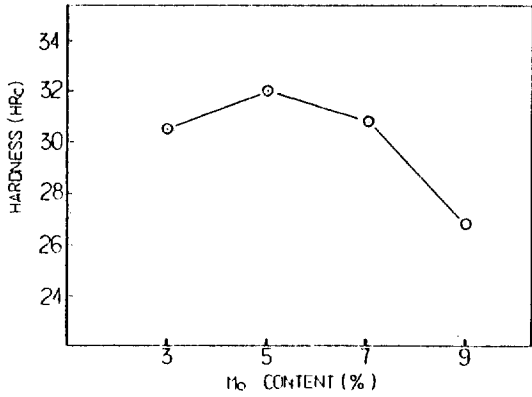
cycle	specimen dimension (m/m)		forging temperature (°C)		forging ratio	total reduction
	initial	final	start	finish		
1 st	110 sq	80 sq	1,200	870	2 S	47.1
2 nd	80 sq	15×60		830	7 S	92.6

3. 실험결과 및 고찰

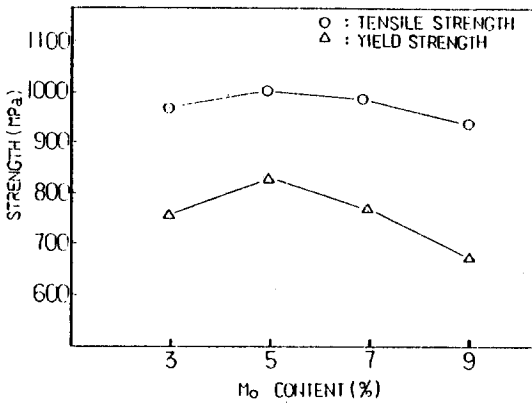
3.1. 용체화처리 후의 기계적 성질에 미치는 Mo의 영향

Fig.2는 840°C에서 1시간 용체화처리한 시편의 경도, 인장강도 및 항복강도에 미치는 Mo의 영향을 나타낸 것으로서 Mo량이 5%까지는 이들 기계적 강도값이 증가하다가 이후 감소되는 것을 알 수 있다.

Fig.3은 용체화처리한 시편의 Mo 함량에 따른 잔류 오스테나이트의 량을 측정된 결과로서 Mo량이 5%이하에서는 잔류 오스테나이트가 거의 없어 이 경우 완전한 마르텐사이트 변태를 한다는 것을 알 수 있으며, Mo량이 7%에서 부터 잔류 오스테나이트가 급격히 형성된다



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Effect of molybdenum on hardness solution treatment : 840°C - 1 Hr W.C
(b) Effect of molybdenum on yield strength and tensile strength.
solution treatment : 840°C - 1 Hr W.C

는 것을 알 수 있다. 이러한 사실을 Fig. 2의 기계적 성질 변화와 관련시켜 보면 5%Mo 까지는 잔류 오스테나이트가 없으므로 고용강화에 의해서 기계적 강도가 증가하지만 Mo 량이 7% 이상에서는 Mo 첨가에 따른 잔류 오스테나이트량의 급증에 의한 강도감소 효과에 따라 7%Mo 이후의 기계적 강도값이 감소되는 것으로 판단된다.

3.2. 기계적 성질에 미치는 Mo 및 시효의 영향

3.2.1. Mo 량 및 시효에 따른 잔류 오스테나이트량의 변화

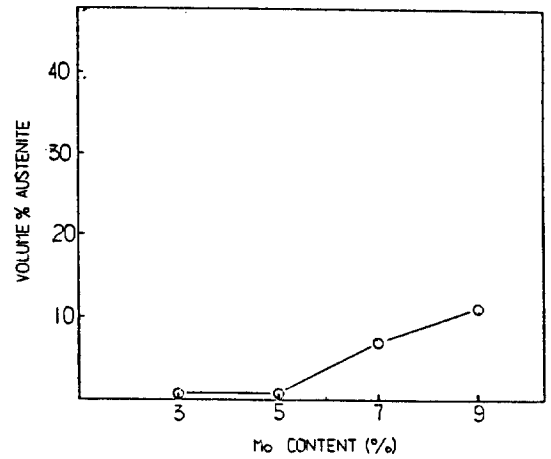


Fig. 3. Volume percent austenite formed during solution treatment at 840°C with varying molybdenum content.

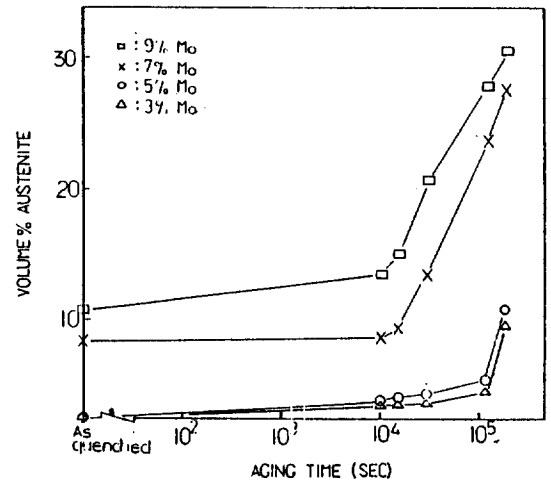


Fig. 4. Plots showing the effect of aging time at 480°C on the amount of austenite present in Mo-modified maraging steels.

Fig. 4는 Mo 량 및 시효시간에 따른 잔류 오스테나이트량의 변화를 나타낸 것으로서 Mo 량이 3~5%일 경우는 4 시간 시효시 약 2%의 역변태 오스테나이트가 형성되고 100 시간 시효시에는 각각 9% 및 11%가 형성되나 용체화처리 상태에서 약 8~11%의 잔류 오스테나이트를 포함하는 7~9%Mo의 경우는 8 시간 시효시부터 급격히 증가하여 100 시간 시효시 각각 27% 및 31%로 급

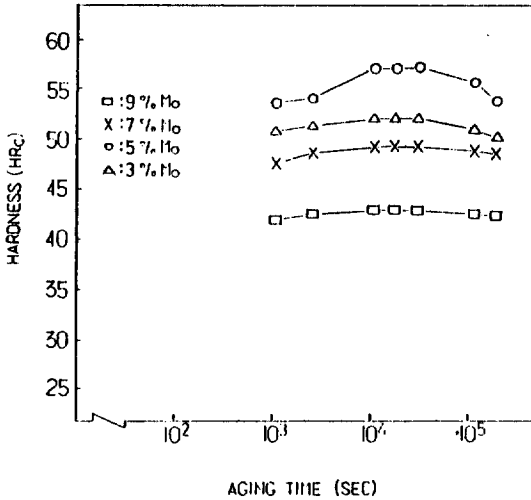


Fig. 5. Effect of aging time on hardness of Mo-modified maraging steels, aged at 480°C. solution treatment : 840°C-1 Hr W.C

증한다는 것을 알 수 있다. 이것은 용체화처리시 형성된 잔류 오스테나이트가 시효시 형성되는 역변태 오스테나이트의 형성을 가속화시키기 때문이라고 생각되며, 이러한 결과는 Mo 량의 증가에 따라 Ms 점이 감소되어 잔류 오스테나이트가 급격히 증가함에 따라 인장강도가 저하한다는 岡田康孝⁸⁾의 연구결과와 일치한다.

3.2.2. 경도에 미치는 영향

Fig. 5는 840°C에서 용체화처리한 시편의 Mo 량 및 480°C 시효시의 시효시간에 따른 경도변화를 나타낸 것으로서 Mo 량이 5%일 때 최대경도값을 보이고, 3, 7, 9% Mo의 순으로 경도값이 감소되었으며, Mo 량이 5%이고 시효시간이 4~12 시간일 때 최대경도값을 보인다는 것을 알 수 있다.

이러한 결과는 3~5% Mo의 경우 4 시간 정도의 시효에 따라 Ni₃Mo, Ni₃Ti와 같은 금속간 화합물이 막대한 밀도의 변태전위를 석출 site로 하여 미세하게 분산석출되어 시효가 완료되었다고 볼 수 있으며, 시효시간이 50 시간 이상에서부터 경도가 저하하는 것은 과시효에 따른 석출물의 조대화 및 역변태 오스테나이트의 영향이 복합작용된 연화현상의 결과라 생각된다. 한편 7~9% Mo의 경우가 3~5% Mo 보다 경도값이 적은 것은 Mo 량의 과다에 따른 잔류오스테나이트가 경도에 상당히 큰 영향을 미쳤기 때문이라고 생각되며, 이러한

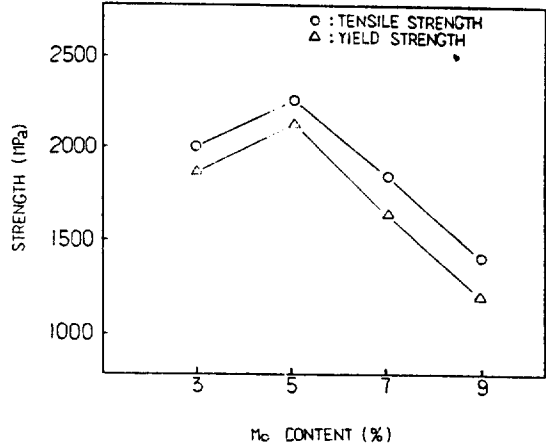


Fig. 6. Effect of molybdenum on yield strength and tensile strength heat treatment : 840°C 1 Hr W.C ; 480°C 4 Hr A.C

이유로 7~9% Mo는 시효시간의 변화에 따른 경도값의 변화가 3~5% Mo에 비해 상대적으로 적게 나타난 것으로 생각된다.

시효에 따른 경도증가 현상은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 용체화처리 상태에서 Mo 량이 3%, 5%인 경도값은 각각 HRC 30.5 및 32.0이었으나 시효처리한 경우 즉, 석출강화 효과가 첨가된 경우에는 HRC가 각각 54.5와 57.0으로서 HRC 시효처리/HRC 용체화처리의 값이 약 1.8의 값을 나타내나 Mo 량이 7%에서는 1.6, 9%에서는 1.4로서 Mo 량의 증가에 따라 시효에 따른 경도증가가 둔화된다는 것을 알 수 있다.

3.2.3. 인장강도에 미치는 영향

Fig. 6은 840°C에서 용체화처리하고 480°C에서 4 시간 시효처리한 시편의 Mo 량에 따른 인장강도 및 항복강도 변화를 나타낸 것으로서 5% Mo의 경우 최대강도값을 보이고 그 이후 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 5% Mo까지는 역변태 오스테나이트의 양이 2%이하로 작기 때문에 Ni₃Mo, Ni₃Ti 등의 석출상의 석출에 의한 강도 기여분으로 생각할 수 있는 반면에 7% Mo 이상에서는 용체화처리 시의 잔류 오스테나이트와 그에 따른 역변태 오스테나이트량의 급격한 증가에 따른 강도감소로 생각할 수 있다.

Photo. 1은 Mo 량에 따른 인장시편 파단면의 주사전 자현미경 사진으로서 전체적으로 dimple 파면을 나타내나 최대강도값을 보이는 5% Mo의 경우에는 벽개 파면

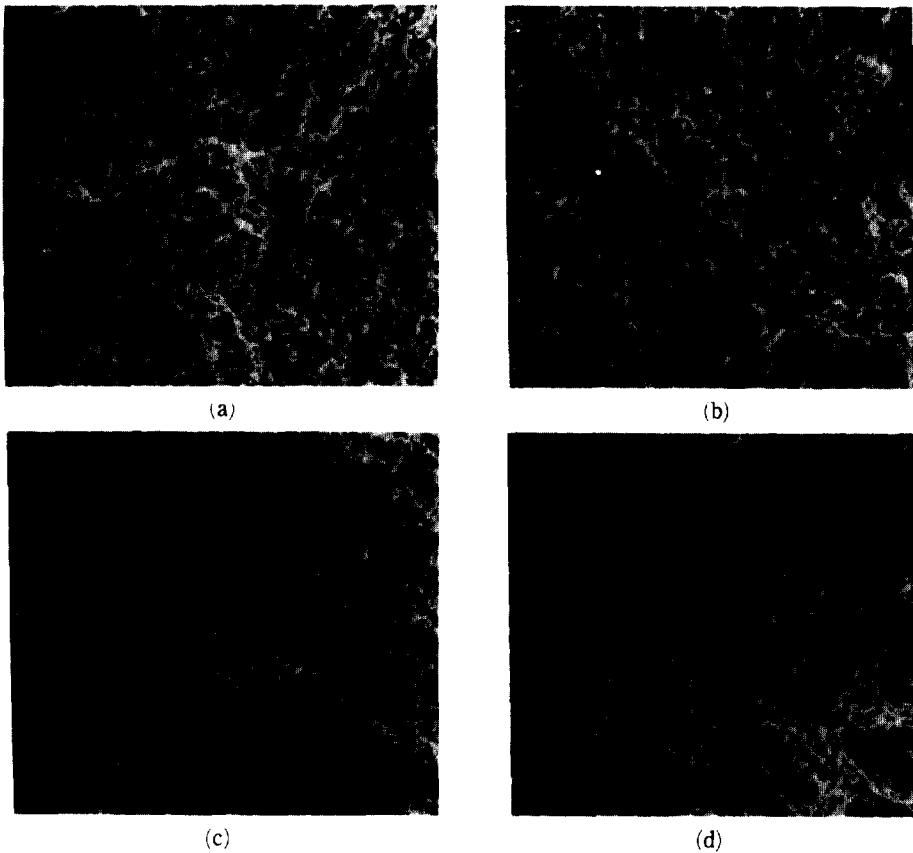


Photo. 1. Scanning electron micrographs showing the fracture surfaces of tensile-tested specimens of 18Ni maraging steels with (a) 3%Mo, (b) 5%Mo, (c) 7%Mo and (d) 9%Mo.

이 혼재되어 있음을 알 수 있다.

3.2.4. 충격치에 미치는 영향

Fig.7은 Mo 량에 따른 충격흡수에너지의 변화를 나타낸 것으로서 Mo 량이 5%일 때 최소값을 보이지만 큰 감소는 보이지 않았다. 따라서 인성을 크게 떨어뜨리지 않고 최대강도값을 얻을 수 있는 Mo의 량은 본 연구에서 채택한 Mo 함량에서는 5% Mo으로 판단된다.

3.2.5. 항복강도에 미치는 Mo 량 및 시효의 영향

Fig.8은 840°C에서 용체화처리한 시편을 480°C에서 시효하였을 때 시효시간에 따른 항복강도의 변화를 나타낸 것으로서 5% Mo의 경우 4시간 시효시 최대강도값을 나타내었으며 이러한 항복강도의 변화추이는 경도값의 변화추이와 같은 경향을 보인다. 즉 역변태 오스테나이트의 양이 아주 적은 시효의 초기단계에서는 석출물의 석출에 의하여 강도가 증가하여 피크경도값까지

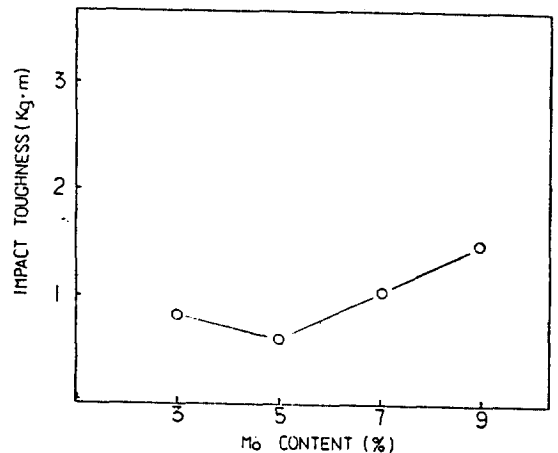


Fig.7. Effect of molybdenum on impact toughness heat treatment : 840°C 1 Hr W.C : 480°C 4 Hr A.C

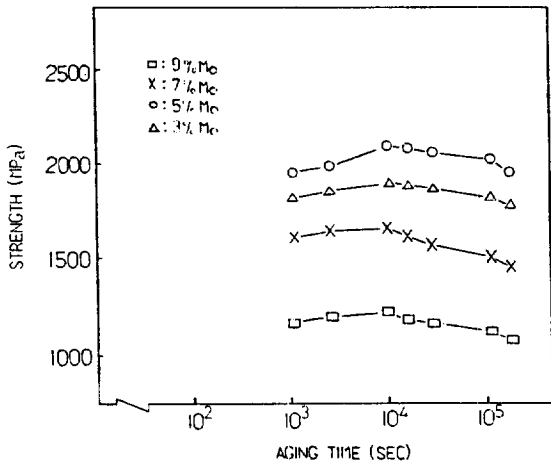


Fig. 8. Effect of aging time on yield strength of Mo-modified maraging steels, aged at 480°C. solution treatment : 840°C-1 Hr W.C

증가하다가 피크경도값 이후는 석출물의 조대화와 더불어 역변태 오스테나이트의 영향이 복합작용됨으로서 강도값의 감소가 일어난다고 생각된다.

4. 결 론

300 KSI 급 18 Ni 마르에이징 강에서 Mo 량 및 시효 시간의 변화에 따른 잔류 오스테나이트의 양 및 기계적 성질의 변화를 조사한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 용체화처리 상태에서 5% Mo까지는 완전 마르텐사이트 변태를 하고 7% 및 9% Mo의 경우 각각 약 8% 및 11%의 잔류 오스테나이트를 형성한다.

2) 역변태 오스테나이트의 형성은 시효시간에 의존하

며 용체화처리시 형성된 잔류 오스테나이트는 시효시의 역변태 오스테나이트의 형성을 크게 촉진시킨다.

3) 5% Mo의 경우 480°C 4~8 시간 시효시 충격흡수 에너지의 큰 감소 없이 최대경도 및 최대강도값을 나타내었다. 따라서 인성을 크게 저하시키지 않고 최대경도 및 최대강도를 얻을 수 있는 Mo 함량은 5%이었다.

5. 참고문헌

1. C.G. Bieber ; Progress with 25% Nickel Steels for High Strength Application ; 1960, Vol.78, No.5, p.99.
2. A.M. Hall ; Review of Maraging Steel Development, Cobalt ; 1964, No.24, p.138.
3. R.F. Decker, J.T. Eash and A.J. Goldhan ; 18% Nickel Maraging Steel, Trans. A.S.M ; 1962, Vol. 55, p.58.
4. I. Lin Cheng and G. Thomas ; Trans., A.S.M. ; 1969, Vol. 62, p.582.
5. G.J. Spader ; Met. Trans ; 1970, Vol. 1, p.2011-2014.
6. H.J. Rack and D. Kalish ; Met., Trans ; 1972, Vol. 3, p.1012.
7. Y. Asayama ; Japan Inst., Met. ; 1986, Vol. 50, p.695.
8. S. Takaki, Y. Tokunaga ; Trans., J.I.M ; 1982, Vol. 23, p.31.
9. 岡田康孝, 邦武立郎 ; 鐵と鋼 ; 1981, Vol. 67, p.143-148.