

코바강의 탄소첨가량에 따른 강도에 미치는 영향

최병희 · 최병기^{*†}

조선이공대학 자동차과 · *조선대학교 기계공학과
(2010. 1. 26. 접수 / 2010. 5. 16. 채택)

The Effect on the Strength According to Carbon Content of Kovar Steel

Byung-hui Choi · Byung-ky Choi^{*†}

Department of Automobiles, Chosun University College of Science & Technology

^{*}Department of Mechanical Engineering, Chosun University

(Received January 26, 2010 / Accepted May 16, 2010)

Abstract : Ni alloy steel is able to use during long time because of good acid and corrosion resistance. So, it's research has focused on developing the alternative alloy which is economically feasible. Recently, consumption of Kovar steel is gradually increased in field of the jet engine and the gas turbine because of its low thermal expansive characteristics. The specimens of Kovar steel(29%Ni-17%Co) contain 0.00%C, 0.03%C, 0.06%C, 0.10%C and 0.20%C, respectively. Ingots are manufactured by VIM(vacuum induction melting furnace) and then specimens are made by automatic hot rolling after heat treatment. Strength of Kovar steel according to carbon contents is estimated by hardness, tensile and impact test. Hardness of the 0.20%C specimen is more improved approximately 14.4% than one of base metal. Its strength increases 32.4% of a base metal, and its impact energy is also enhance 11.5%.

Key Words : kovar steel, carbon content, micro-structure, strength, elongation, base metal

1. 서론

Ni합금강은 초고온 내산·내부식성이 우수하여 장시간 사용할 수 있고 경제성 높은 대체합금 개발에 연구가 집중되고 있으며, 이러한 용도의 합금 중에서 대표적이다. 내열·내산화성을 높이기 위하여 Ni에 Cr을 첨가시켜 Ni-Cr-Fe계인 인코넬(Inconel)이 개발되었고 내부식성을 높이기 위하여 Mo과 W를 첨가시켜 하스텔로이(Hastelloy)가 개발되었으며, 내열 및 열변형 방지 등을 위해 Co 등을 첨가시켜 인바(Invar) 및 코바(Kovar)강 등 많은 Ni합금강이 개발되었다. Ni합금강 중에서 54%Fe-29%Ni-17%Co(wt.%) 성분의 코바(Kovar)라고 불리는 오스테나이트계 합금으로서 극저온에서 435°C까지 열팽창이 거의 일어나지 않는 저열팽창성 특성($\alpha \approx 4.6 \sim 5.2 \mu\text{m/m} \cdot ^\circ\text{C}$)을 나타내고 있다¹⁾. 즉, 이 합금의 열팽창 거동은 인바(Invar) 합금에 비하여 상당히 높은 온도까지 낮은 열팽창계수가 유지되어 유리나 세라믹과 비슷한 열적 특성을 나타내는 독특한

한 성질을 지니고 있다²⁾. 또한 적절한 용접성 및 기계적 성질과 넓은 범위에서의 오스테나이트 안정성 등의 많은 장점을 가지고 있으므로 제트엔진, 가스터빈 등 그 적용은 점차 확대되고 있다.

지금까지 코바강에 대한 대표적인 연구를 살펴보면, Ni에 Co의 함량을 0~60%(wt.%)로 변화시켜 제조한 합금의 가공조직에 관한 연구³⁾, Co-Ni 증착막의 형성과 자기특성에 관한 연구⁴⁾, Fe-Ni-Co 저열팽창성 합금의 고온변형 특성 및 열간가공에 따른 열팽창거동 연구⁵⁾ 및 Ni-Co 합금강의 기계적 특성에 대한 탄소함량의 영향⁶⁾ 등 미흡한 실정이다.

코바강의 저열팽창성 합금은 용도에 따라 주로 선재, 박판, 봉재 등의 형태로 사용되며, 필수적으로 열간 단조, 열간 압출, 열간 압연 등의 열간가공 공정을 거치게 된다²⁾. 최근 들어 열간 가공은 단순히 제품의 원하는 형상이나 치수 등을 대략적으로 맞추는 것뿐만 아니라 그 소재의 제반 특성을 변화시키고 이어지는 후가공의 가공조건에도 영향을 미치는 중요한 공정으로 인식되고 있다.

또한 저열팽창성 합금들의 열적특성은 합금의 조성, 냉간가공, 열처리 조건 및 미세조직의 변화에

[†] To whom correspondence should be addressed.
bkchoi@chosun.ac.kr

도 큰 영향을 받는 것으로 보고^{7,8)}되고 있으므로 여러 가지 요인에 의해 변화되는 강도 및 미세조직 등의 금속학적 연구는 앞으로도 많은 분야에서 필요하다. 특히, 열적특성의 향상과 금속의 화학적 기본조성 외에 원소 첨가가 강도에 미치는 영향 등의 평가 등이 수반되어 소재의 성질 향상 및 개발에 필요한 데이터의 확립이 매우 중요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 경도시험, 인장시험 및 충격시험 등을 수행하여 탄소첨가량이 코바강의 미세조직과 강도에 미치는 영향을 비교·평가하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

본 연구에서는 코바강의 탄소첨가량이 강도에 미치는 영향을 분석하고자 표준화학적 성분에 탄소를 각각 0.00%, 0.03%, 0.06%, 0.10% 및 0.20% 첨가시킨 5가지의 소재를 진공유도용해로(VIM)를 이용하여 잉곳을 제조하였다. 사용된 진공유도용해로의 최고 가열온도는 1,650℃이며, 진공도는 10-3 Torr, 용해시간은 45min/charge이었다.

Table 1은 코바강의 기본조성 및 탄소 함량을 다르게 하여 제조한 잉곳의 화학적 성분을 나타내고 있으며, 이들의 성분분석에 사용된 장치는 고체시료 무기원소 정량분석에 널리 이용되는 C/S동시분석기(C/S Dectermimator) 및 습식분석장치(Dosimat)를 사용하였다.

제조된 5가지의 잉곳을 모두 동일하게 1,220℃에서 3시간 열처리 후 7단계 자동 열간압연을 실시하여 최종 압연두께 13mm를 만들었으며, 열간압연 과정의 폭, 길이 및 두께의 변화를 Table 2에 나타내었다. 압연된 판재로부터 각각의 시험편의 채취는 압연 시종단 및 가장자리에서 충분한 여유를 두고 판 중앙부에서 고루 채취하여 시험의 정확성을 높이고자 하였다.

Table 1. Chemical compositions of manufactured steels

Materials	Ni	Co	Mn	C	Fe
Base compositions	29.0	17.0	0.30	-	bal
0.00%C	29.1	17.0	0.30	0.0022	bal
0.03%C	28.9	17.1	0.28	0.029	bal
0.06%C	28.8	17.0	0.31	0.064	bal
0.10%C	29.0	16.9	0.30	0.105	bal
0.20%C	29.0	16.9	0.31	0.217	bal

Table 2. Variation of hot rolling process

Pass No.	Thickness (mm)	Width (mm)	Length (mm)	Rolling force (ton)
1	110.0	122	247	72
2	96	125	275	108
3	75.0	132	335	138
4	55.0	139	432	177
5	34.0	150	648	265
6	20.0	160	1,035	322
7	13.0	167	1,651	341

각각의 탄소첨가량에 따른 미세조직의 관찰을 위하여 열간압연 판재의 조직 사진은 SEM(JSM-6460LV)을 이용하였으며, 이 때 사용된 부식액은 20% HNO₃ + 80% C₂H₅OH로서 상온에서 약 10~20초간 실시하였다.

경도시험은 시료를 마운팅 프레스로 몰당한 후 고찰하고자 하는 면을 연마포 #1,500까지 연마하고 1μm의 다이아몬드 페이스트 및 0.3μm의 Al₂O₃를 사용하여 경면을 연은 다음 로크웰경도시험기(HR-521)를 사용하여 측정하였다.

인장시험을 위한 시험편의 가공은 압연된 판재를 약 13×13×150(mm) 크기로 절단하여 인장시험편 Fig. 1과 같이 ASTM E-8의 규정⁹⁾에 따라 평활부의 직경을 6.25mm, 표점거리 30mm인 환봉으로 CNC선반을 이용하여 가공한 다음 정밀 연삭을 실시하였으며, 인장시험은 Instron 5582를 사용하여 상온에서 3mm/min의 속도로 시험하였다.

그리고 충격시험을 위한 시험편 가공은 압연된 판재를 적당한 가공여유를 두고 압연방향과 평행하게 절단하여 단면의 크기가 샤프피 표준시험편¹⁰⁾의 크기인 10×10×55(mm)가 되도록 밀링가공 및 연삭을 실시하였다. 그 다음 표준시험편의 규격에 맞도록 깊이 2mm의 45°로 가공하였다. 이 때 시험편을 압연방향과 평행하게 채취하였으므로 노치의 길이방향은 압연방향과 수직으로 가공되었다. Fig. 2는 표준규격에 맞게 가공한 충격시험편의 형상 및 치수를 나타내고 있다.

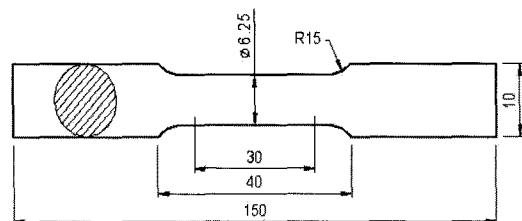


Fig. 1. Geometry of the tensile test specimen.

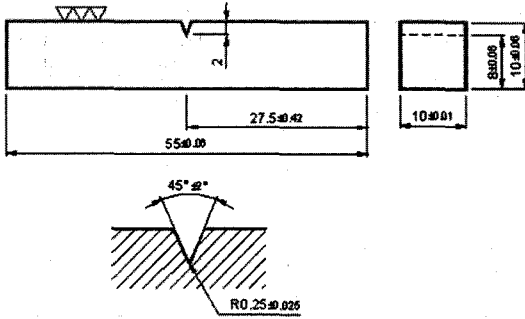


Fig. 2. Geometry of Charpy impact test specimen.

일반적으로 충격시험이란 부하 후 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ sec 이내에서 파단하거나 부하 후 항복까지의 시간이 10^{-3} sec 정도의 단시간인 고속 파괴시험으로서, 파괴기구의 해명을 위한 충격시험의 경우 종래의 아날로그 방식으로는 정확한 값을 구하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 신속성과 경제성이 우수하고 정밀도가 높으며, 변위와 하중을 전기적인 값으로 측정하여 컴퓨터로 직접 얻을 수 있는 자동기록형 또는 계장화 충격시험을 실시하였다.

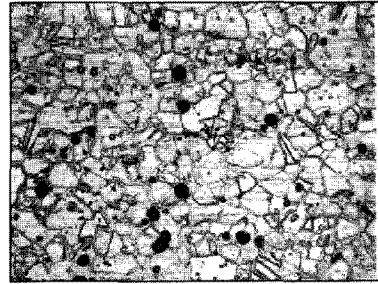
충격시험기는 로드셀이 계장화된 샤르피 충격시험기(CIEM-30)로서 시험편에 충격하중을 가하면 시험편과 해머날의 접촉순간부터 파단까지 빠르게 변화하는 하중을 측정할 수 있는 시험기이며, 해머의 지상각은 142° , 충격속도는 약 5m/sec 로 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

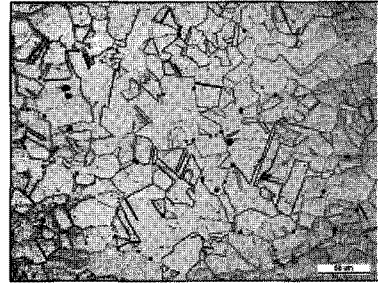
3.1. 미세조직 및 경도

탄소첨가량에 따라 제조된 열간압연 판재의 미세조직의 관찰 및 사진은 SEM을 이용하였다. Fig. 3(a)~(e)에 나타난 바와 같이 탄소의 첨가량이 입자의 크기에 미치는 영향은 없었으며, 약 $15 \sim 50\mu\text{m}$ 의 입자들이 혼재한 조직을 보였다. 또한 탄소가 첨가되지 않은 모재의 경우 탄화물이 쉽게 관찰되었으나 탄소가 첨가된 시험편에서는 탄화물이 미세하게 분포되었음을 파악할 수 있었다.

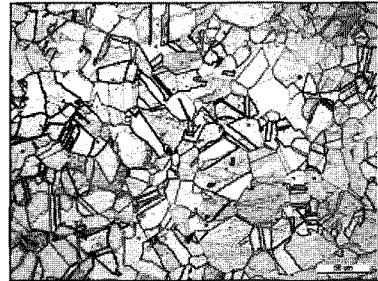
일반적으로 코바강에 Cr이나 Cu를 첨가한 시료 및 그 시료를 $1,000^\circ\text{C}$ 에서 약 30min간 열처리 한 후 조직을 살펴보면, 이상 조직(α 상)이 관찰되는 경우가 있으나 본 연구에서 적용한 탄소첨가량에서는 특별한 탄화물 등의 이상 조직은 나타나지 않았으며 오히려 탄소가 첨가되지 않은 모재보다 상의 안정효과를 나타내었다고 사료된다.



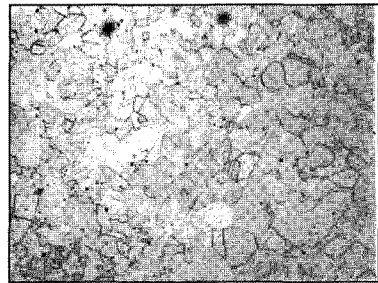
(a) 0.00%C



(b) 0.03%C



(c) 0.06%C



(d) 0.10%C



(e) 0.20%C

Fig. 3. Micro-structure of the specimens.

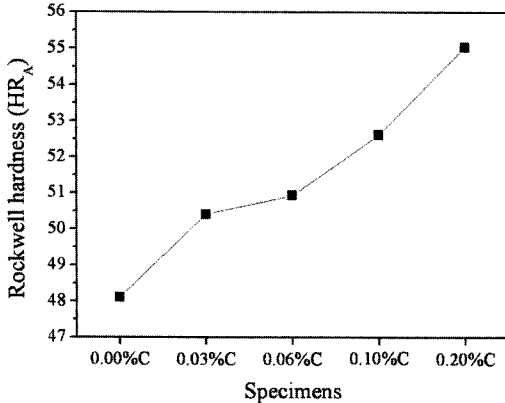


Fig. 4. Rockwell hardness value on the carbon contents.

경도값은 로크웰경도 시험기를 사용하여 탄소첨가량에 따른 시험편을 각각 10회를 측정하였다. 그리고 최고값 및 최저값을 제외한 평균 경도값(HRA)을 Fig. 4에 나타내었다.

탄소를 첨가하지 않은 0.00%C 시험편은 48.11, 0.03%C 시험편은 50.41, 0.06%C 시험편은 50.93, 0.10%C 시험편은 52.61 및 0.20%C 시험편은 55.03으로 나타났다. 따라서 탄소의 첨가량이 많을수록 측정된 평균 경도값은 증가하는 결과를 보였으며, 탄소의 첨가량이 가장 많은 0.20%C 시험편이 가장 우수한 경도값을 나타내었다. 특히, 탄소가 첨가되지 않은 0.00%C 시험편보다 약 14.4% 이상의 증가를 나타내었다.

3.2. 강도 및 연신율

상온에서 인장시험을 수행하여 강도 및 연신율에 미치는 영향을 고찰하였다. Fig. 5는 탄소첨가량에 따른 각각의 시험편의 항복강도 및 인장강도의 변화를 나타내었으며, Fig. 6은 연신율의 변화를 나타내었다.

탄소가 첨가되지 않은 0.00%C의 시험편을 기준으로 살펴보면, 항복강도는 탄소첨가량이 각각 0.03%C, 0.06%C, 0.10%C 및 0.20%C로 높아질수록 2.8%, 4.4%, 10.4% 및 14.6% 증가하였다. 인장강도 또한 탄소함량이 많을수록 6.7%, 12.4%, 18.2% 및 32.4% 증가하였다.

그러나 연신율은 0.00%C의 시험편을 기준으로 0.10%C의 탄소첨가량까지는 감소하였는데 각각 0.03%C 시험편은 2.5%, 0.06%C 시험편은 1.8% 및 0.10%C 시험편은 1.0%의 감소를 나타내었다. 이와 반대로 0.20%C 시험편에서는 약 7.6%의 증가를 나타내었다.

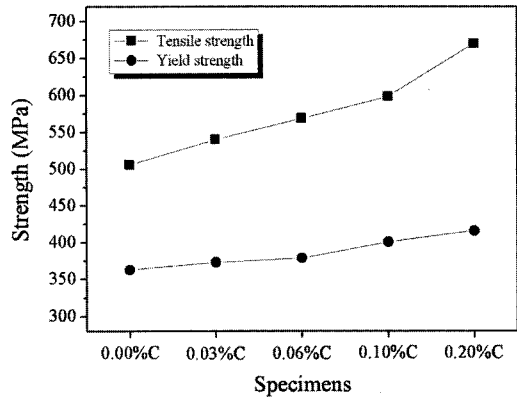


Fig. 5. Tensile and yield strength on the carbon contents.

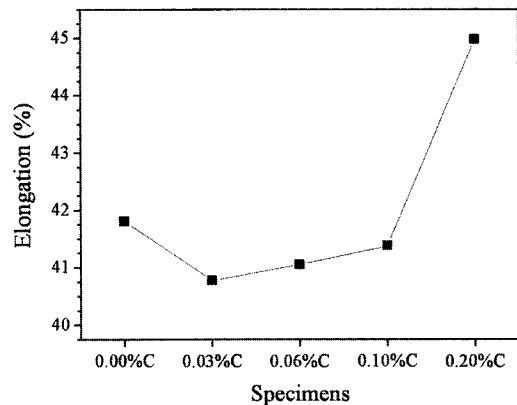


Fig. 6. Elongation on the carbon contents.

따라서 일반적으로 금속에 탄소가 많이 포함될수록 강도는 증가하나 연신율은 감소하는 결과와 유사하게 나타났으나 탄소첨가량이 가장 많은 0.20%C의 시험편에서는 강도도 높고 연신율도 증가하였으므로 가장 양호한 결과를 나타내었다.

3.3. 충격흡수 에너지

탄소첨가량에 따른 각각의 시험편에 대하여 상온에서 충격시험을 수행하여 고찰하였다.

Fig. 7은 각 시험편의 탄소첨가량이 샤프피 충격값에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 샤프피 충격값은 탄소가 첨가되지 않은 0.00%C 시험편은 306.46J, 0.03%C 시험편은 259.48J, 0.06%C 시험편은 274.53J, 0.10%C 시험편은 295.82J 및 0.20%C 시험편은 314.35J로 나타났다.

충격흡수 에너지값의 결과를 살펴보면, 탄소의 첨가량이 증가할수록 충격흡수에너지값은 증가하였으나 0.03%C, 0.06%C 및 0.10%C 시험편의 충격

에너지는 탄소가 첨가되지 않은 0.00% C 시험편의 모재보다 낮게 나타났으며, 탄소의 첨가량이 가장 많은 0.20% C 시험편의 충격에너지는 가장 높게 나타났는데 이는 모재보다 약 11.5% 증가한 값을 나타냈다. 이러한 원인은 탄소첨가량이 0.00% C 시험편의 조직을 관찰해보면 탄화물이 다량으로 분포되어 있으며, 0.03~0.10% C 시험편에서는 오스테나이트 쌍정조직이 나타났고 결정입도가 기본 조직에 비해 크게 형성되었으므로 충격흡수 에너지가 0.00% C 시험편보다 낮게 나타났다. 이와 반대로 0.20% C 시험편의 조직은 탄소가 첨가되지 않은 0.00% C 시험편과 결정입도가 비슷하게 형성되었고 탄화물이 미세하게 분포되었기 때문에 충격값이 증가하였다. 오히려 탄소첨가량이 조직의 안정화를 나타내었으며, 이는 오스테나이트 결정립의 크기가 강재의 성질을 좌우하는 인자로서 오스테나이트 결정립이 미세할수록 충격값이 높게 나타나기 때문이다. 그러므로 본 연구결과, 탄소의 첨가량에 따른 각각의 5가지 시험편 중에서 가장 높은 경도, 강도 및 연신율을 나타내었던 결과와 잘 일치하고 있다.

따라서 탄소의 첨가량이 코바강의 충격흡수에너지에 미치는 영향에 대하여 시험한 결과를 종합하면, 탄소의 첨가량이 0.10% C 이하에서는 샤프피 충격값이 탄소가 첨가되지 않은 모재보다 낮은 값을 나타내었다.

반면에 탄소의 첨가량이 가장 많은 0.20% C 시험편은 모재보다 약 11.5% 증가하여 가장 우수한 인성을 나타내었다. 또한 0.20% C 시험편은 경도 및 강도가 높으면서 연신율도 가장 우수하였으므로 가장 양호한 기계적 성질을 갖는다고 할 수 있다.

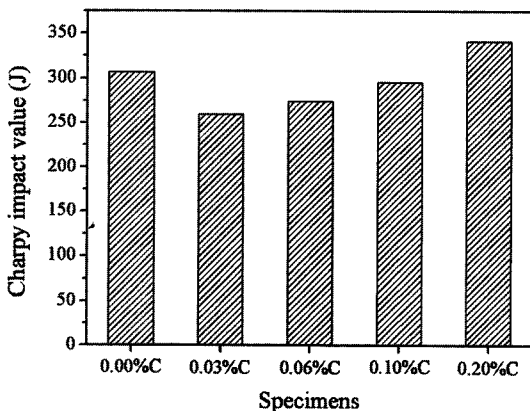


Fig. 7. Charpy impact value on the carbon contents.

4. 결론

본 연구에서는 저열팽창성 특성이 우수하여 제트엔진, 가스터빈 등의 적용이 확대되고 있는 코바강을 대상으로 탄소의 첨가량이 미세조직 및 강도에 미치는 영향을 비교·평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 미세조직의 관찰 결과, 탄소의 첨가량이 입자의 크기에 미치는 영향은 없었으며, 약 15~50 μ m의 입자들이 혼재한 조직을 보였다. 특히, 탄소첨가량에 따른 탄화물 등의 이상 조직이 관찰되지 않았다.

2) 경도값은 0.00% C, 0.03% C, 0.06% C, 0.10% C 및 0.20% C 시험편의 순으로 탄소의 첨가량이 많을수록 증가하였으며, 0.00% C의 시험편보다 0.20% C의 시험편이 약 14.4% 이상 높게 나타났다.

3) 항복강도 및 인장강도는 탄소첨가량이 높아질수록 증가하였으며, 각각 약 14.6% 및 약 32.4%의 증가를 나타내었다. 그러나 연신율은 탄소첨가량의 증가에 따라 0.10% C의 시험편까지는 감소를 나타내었으며, 0.20% C의 시험편은 약 7.6%의 증가를 나타냈다.

4) 충격흡수에너지는 탄소의 첨가량이 0.10% C 이하에서는 탄소가 첨가되지 않은 0.00% C의 시험편보다 낮은 값을 보였으나 0.20% C의 시험편은 모재보다 약 11.5% 증가한 결과를 나타냈다.

참고문헌

- 1) B. Gehrman, U. Heubner, Kolb-Telieps and A.Ed. J. Wittenauer, "The Minearls", Metals and Materials Society, p. 3, 1992.
- 2) L.L. Harner, J.J. Stephens and D.R. Frear, "The Minerals", Metals and Materials Society, p. 3, 1992.
- 3) C.S. Choi and T. Suzuki, "Study on Deformed Structures of Ni-Co Alloys", J. of the Korean Inst. of Metals, Vol. 21, No. 9, pp. 796~801, 1993.
- 4) Y.B. Park, D. Raabe and T.H. Yim, "Rolling and Recrystallization Textures in Fe-Ni Alloys", J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., Vol. 2, No. 3, pp. 151~157, 1996.
- 5) K.A. Lee, J.H. Park, B.H. Cho, N.G. Jung and M.C. Kim, "Hot Deformation and Thermal Expansion Behavior of Fe-Ni-Co Low Thermal Expansion Alloy", J. of Inst. Met. & Mater., Vol. 41, No. 9, pp. 539~

- 549, 2003.
- 6) B.K. Choi, K.C. Jang, B.H. Choi and K.A. Lee, "Influence of Carbon Content on the Mechanical Properties of the Ni-Co Alloy", Transactions of KSMTE, Vol. 15, No. 5, pp. 7~13, 2006.
 - 7) J.H., Lee, H.J. Kim, I.K. Kang, H.S. Kim and H.G. Ahn, J. Lor. Inst. Met & Mater., 31, p. 867, 1993.
 - 8) M. Hayase, M. Shinga and Y. Nakamura, J. Phys. Soc. Japan, 30, p. 729, 1971.
 - 9) Annual Book of ASTM Standards, "Metals Test Methods and Analytical Procedures", Standard Test Methods for Tension of Metallic Materials, E 8M-96, Section 3, pp. 76~96, 1996.
 - 10) Annual Book of ASTM Standards, "Metals Test Methods and Analytical Procedures", Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, E23-96, Section 3, p. 142, 1996.