

# AZ31마그네슘합금의 마찰접합특성

공유식<sup>1</sup> · 천봉근<sup>2</sup> · 강대민<sup>#</sup>

## Mechanical Properties of Friction Joint of AZ31Mg Alloy

Y. S. Kong, B. K. Chun, D. M. Kang

(Received April 14, 2010 / Revised July 7, 2010 / Accepted July 12, 2010)

### Abstract

Magnesium alloy has been known as lightweight material in automobile and electronic industry with aluminum alloy, titanium alloy and plastic material. Friction welding is useful to join various metals and nonferrous metals that are difficult to join by such as gas welding, resistance welding and electronic beam welding. In this study, friction joining was performed to investigate mechanical properties of Mg alloy with 20mm diameter solid bar. Also the optimal joining conditions for its application were determined on the basis of tensile test, and hardness survey. The joining parameters were chosen as heating pressure, heating time, upsetting pressure, and upsetting time. Heating and upsetting pressure were executed under the range of 10~40MPa and 20~80MPa, respectively. From the experimental results, optimal joining conditions were determined as follows; rotating speed=2000rpm, heating pressure=35MPa, upsetting pressure=70MPa, heating time=1sec, upsetting time=5sec. Also the hardness of jointed boundary showed as HV50 which was similar to that of base metal at the optimal condition, and it was supposed that zone of HAZ was 8mm. Finally two materials were strongly mixed at interface part to show a well-combined microstructure without particle growth or any defect.

**Key Words** : Friction Joint, Lightweight, Magnesium alloy, Mechanical property

### 1. 서 론

산업과 과학기술의 발전과 함께 지구온난화 문제에 대한 우려로 연비규제가 강화되었고 고유가 상황 또한 지속되고 있어 연비향상기술은 산업체의 경쟁력을 좌우할 수 있는 주요기술로서 인식되고 있다. 이 중 경량화는 연비향상기술로서 가장 주목을 받고 있는 것으로 차량무게를 10% 줄이면 연비는 3~8% 개선되는 것으로 알려져 있다[1].

이와 관련하여 마그네슘은 밀도가 알루미늄 합금의 2/3, 철강의 1/5 수준으로 현재까지 개발된 합금중 가장 낮은 밀도를 가지고 있으며 이외에 진동, 충격, 전자파동에 대한 흡진성이 탁월하다

[2,3]. 그리고 전기, 열전도도, 가공성 및 충격특성이 우수하여 각종 수송기계의 경량화 소재로서 요구되는 여러 우수한 특성을 지니고 있어 특히 자동차산업에 전체 마그네슘소비량의 70% 이상을 차지하고 있다.

한편 마찰접합은 재료를 맞대어 가압한 상태에서 상대(회전)운동시켜 접촉부에서 발생하는 마찰열을 이용하여 압접하는 방법으로 접합면 이외부분의 열영향이 적어 높은 치수의 정밀도를 얻을 수 있고 접합시 접합봉이나 용재, 가스등이 불필요하여 운용자금의 절감의 효과를 얻을 수 있다.

그리고 구조조직을 만들지 않기 때문에 기계적 성질이 우수하며 공정변수가 축하중, 회전속도,

1. 부경대학교 BEST센터

2. 한성엘텍㈜

# 교신저자: 부경대학교 기계공학과, E-mail: dmkang@pknu.ac.kr

업셋량 등으로 비교적 관리가 용이하고 자동화가 가능한 장점이 있어 주로 각종 자동차부품, 건설중장비등의 산업기계의 부품에 많이 적용되고 있다 [4].

이러한 마찰접합에 관한 연구는 A. I. Chudikov 가 처음 선반을 개조하여 금속환봉의 마찰용접을 시도하였고 BWRA(영국용접연구협회)에서 마찰용접기를 연구개발하였다. 일본에서도 1963년부터 기계기술연구소에서 연구를 시작하여 이듬해 생산공정에 도입하기 시작하여 매년 마찰용접기의 현장 생산라인에의 도입은 매년 일정한 수준으로 증가하고 있다[5]. 국내에서도 마찰접합의 중요성이 증가하여 자동차부품, 일반산업기계부품, 그리고 전기기계부품등의 생산에 관련기술이 활발히 이용되고 있으나 경량 마그네슘합금의 마찰접합에 대한 연구는 대단히 불충분한 실정이다.

본 연구에서는 수송기계부품의 경량화를 위해 AZ31마그네슘합금의 마찰접합시 마찰압력, 가열시간, 업셋압력, 그리고 업셋시간등의 접합조건에 따른 인장실험과 경도시험, 그리고 조직관찰을 통하여 마찰접합재료의 강도특성과 최적마찰접합조건을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시편

실험에 사용했던 재료는 AZ31 마그네슘 합금의 화학적 성분과 기계적 성분은 Tables1-2에 각각 나타내었다.

**Table 1 Chemical composition of material(wt. %)**

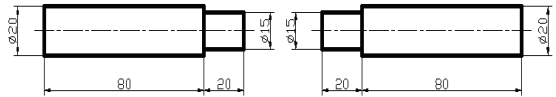
Material	Al	Zn	Mn	Si	Mg
AZ31	2.38	0.97	0.36	0.19	Bal.

**Table 2 Mechanical properties of material**

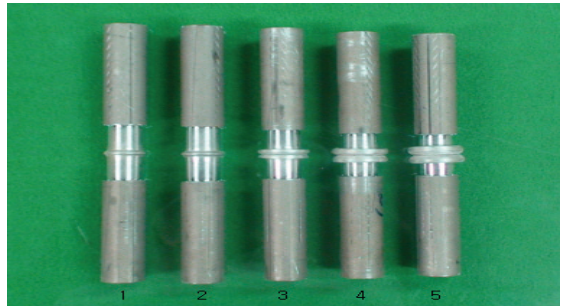
Material	Tensile strength $\sigma_t$ (MPa)	Yield Strength $\sigma_y$ (MPa)	Reduction of area $\psi$ (%)	Elongation $\epsilon$ (%)	Hardness HV
AZ31	274	182	29.4	16.2	55

마찰접합조건에 따른 접합된 시편가공을 위해 우선 Fig.1과 같은 형상 및 치수로 우선 가공하였다. Fig.2는 인장실험 및 경도시험에 필요한 시

편가공을 위해 여러가지 마찰조건에서 접합된 형상을 나타낸다. 결과에서 가열압력 및 업셋압력이 증가하면 접합시 발생하는 플래시 형상도 우산모양의 형상으로 변화되었고 이것은 일정 가열압력에서 업셋압력이 증가하면 접촉부 내부에 발생하는 온도구배가 가파르게 되어 플래시가 형성되는 것으로 추측된다.[6]

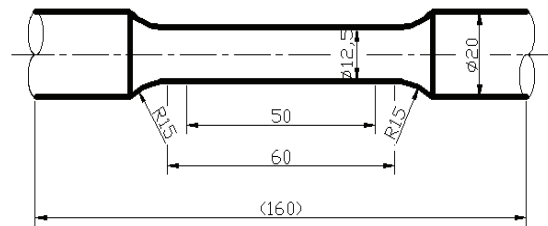


**Fig. 1 Specimen for friction joint**



**Fig. 2 The specimens joined by friction**

Fig.3는 인장강도를 측정하기 위하여 접합된 재료를 KS규격에 따라 가공된 시험편 형상을 나타낸 그림이고 Fig. 4는 미세조직과 경도를 조사하기 위한 마운팅한 시험편을 나타낸 것이다. 경도 및 조직은 마찰접합된 시험편을 접합체면부에서 좌우 10mm에서 절단한 후 축방향 중심부를 따라 절단에 의한 열영향을 최소화하기 위하여 절삭유를 충분히 공급하면서 절단한 후 마운팅 및 경면연마하였다.



**Fig. 3 Tensile test specimen**

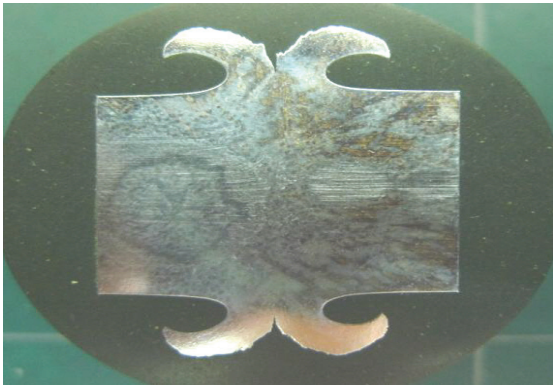


Fig. 4 Jointed section for measuring hardness

2.2 실험장치 및 실험조건

마찰접합은 우선 두 재료를 각각 회전축과 고정축에 장착한 다음 회전축을 회전시키면서 고정축에 이동하여 두 재료를 접촉시키면 마찰이 발생한다. 이때 마찰에너지가 열에너지로 변환되면서 마찰면의 온도가 급속히 상승하여 이러한 상승된 온도로 인해 재료의 소성변형에 의한 플래시가 생기기 시작한다. 이후 스프링들이 정지하면서 한층 더 높은 업셋압력으로 재료를 열간단조시켜 접합이 되는 과정으로 본 연구에 사용된 마찰접합기는 Fig.5와 같이 모델이 TOHO TH-25인 연속구동 브레이크형인 시험기를 사용하였다.

인장시험은 만능시험기로서 인장속도가 2mm/min인 인장시험기를 이용하였고 경도시험은 마이크로 비커스 경도시험기를 이용하여 하중 5g/10초의 0.5mm 등간격으로 측정하였다.



Fig. 5 Friction joint machine

마찰접합에 사용되는 접합변수로서 회전속도는 접합품질 측면에서 일반적으로 중요한 인자가 아닌 것으로 인식되나 속도가 너무 낮으면 토크가 매우 커져 재료의 고정, 불균일 업셋팅 및 소재의 파손 등과 같은 문제가 발생하여 본 실험에서는 회전수를 2000rpm으로 고정하였다. 압력은 접합부의 온도기울기, 소요구동력 및 축방향의 길이 감소량에 크게 관계가 있으며 가열압력이 너무 낮을 경우에는 충분한 발열이 생기지 않고 너무 높으면 국부적으로 고온으로 가열되어 급속히 재료의 축방향 길이가 짧아져 본 실험에서의 가열압력은 10MPa 부터 40MPa까지로 행하였다.

가열시간에 대해서는 가열시간이 너무 길면 산성성이 떨어지고 재료의 손실이 많아진다. 그리고 가열시간이 짧으면 산화물이 잔류하고 계면상에 접합되는 양의 부분이 발생하게 되어 본 실험에서는 가열시간을 1초 전후로 하였다. 이렇게 하여 본 연구에 사용된 실험조건은 Table 3에 표시된 바와 같이 우선 1단계로서 시편의 접합을 위해 마찰접합기를 이용하여 회전수를 2000rpm, 가열시간을 1초, 그리고 업셋시간을 5초로 고정하고 가열압력과 업셋압력을 7개 등간격으로 나누었다.

다음 단계로서 첫번째 단계의 재료손실과 인장강도를 고찰하여 우수한 성능을 가진 조건의 가열시간을 3개 등간격으로 하여 실험하였다. 가열압력과 업셋압력의 최적조건은 타 참고문헌을 통하여 Table3의 조건으로 실험후 결정하였다.[7, 8]

Table 3 The experimental conditions for friction joint

	Rotating Speed N (rpm)	Heating Pressure HP (MPa)	Upsetting Pressure UP (MPa)	Heating Time HT (sec)	Upsetting Time UT (sec)
1	2000	10	20	1	5
		15	30		
		20	40		
		25	50		
		30	60		
		35	70		
		40	80		
2	2000	35	70	0.5	5
				1	
				1.5	

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig.6은 회전수가 2000rpm, 가열시간을 1초, 업셋시간을 5초등으로 하고 가열압력을 10MPa부터 40MPa까지 업셋압력을 20MPa에서 80MPa까지 7개의 등간격으로 조건을 설정하여 가열압력과 업셋압력의 비값에 대한 재료손실과의 관계를 나타낸 결과이다.

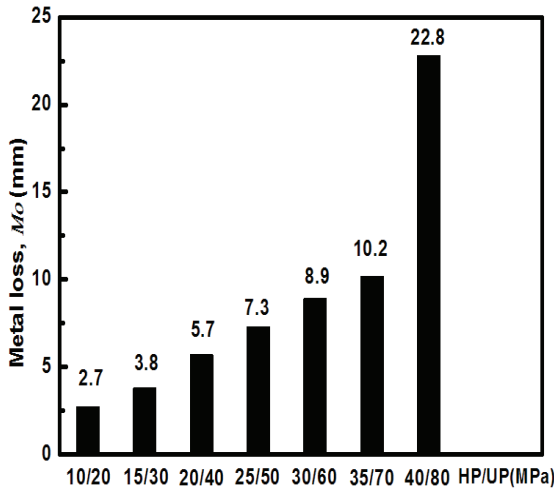


Fig. 6 Metal loss vs. HP/UP

여기서 가열압력과 업셋압력의 증가에 따른 접합특성에 끼치는 영향을 고찰하기 위하여 가열압력과 업셋압력과의 비는 0.5로 일정하게 하였고 결과를 보면 가열압력과 업셋압력이 각각 10MPa, 20MPa부터 가열압력이 35MPa, 업셋압력이 70MPa 일때까지 재료손실량은 일정한 비율로 증가하다가 가열압력과 업셋압력이 각각 40, 80MPa일 때의 재료손실량이 급격히 증가하여 이 조건의 압력은 과잉압력조건으로 생각된다. 타의 실험결과에서도 가열압력이 증가할수록 재료손실량이 선형적으로 증가하는 결과가 많이 보고되고 있다[9].

Fig.7은 모재와 함께 가열압력과 업셋압력의 비(HP/UP)에 따른 인장강도와 항복강도의 변화를 나타낸 것이다. 결과에서 가열압력이 35MPa, 업셋압력이 70MPa의 조건에서 인장강도는 271MPa로서 모재의 인장강도인 274MPa과 거의 비슷하게 나타났고 항복강도는 모재의 값보다 크게 나타났다.

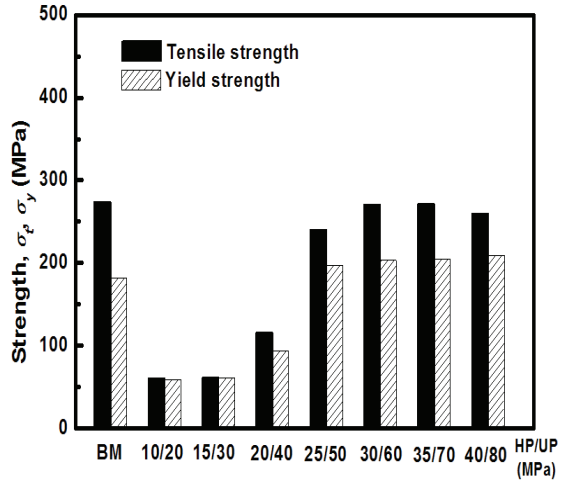


Fig. 7 Strengths vs. HP/UP

Fig.8은 모재와 함께 가열압력과 업셋압력의 비에 따른 연성(연신률, 단면수축률)과의 변화를 나타낸 것이다. 결과에서 가열압력이 35MPa, 업셋압력이 70MPa의 조건에서 연신률과 단면수축률등은 각각 17.7%, 38%로서 모재의 16.2%, 29.4%보다 높게 나타나 이것은 접합계면상태가 대단히 양호하고 압력과 가열시간이 연신률과 단면수축률에 영향을 끼쳤다고 사료되며 또한 여러가지 재료특성을 고려할 때 가열압력이 35MPa, 업셋압력이 70MPa에서 접합조건이 가장 우수한 것으로 생각된다.

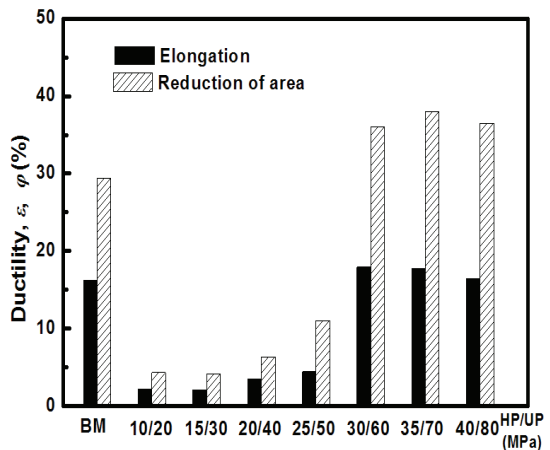


Fig. 8 Ductilities vs. HP/UP

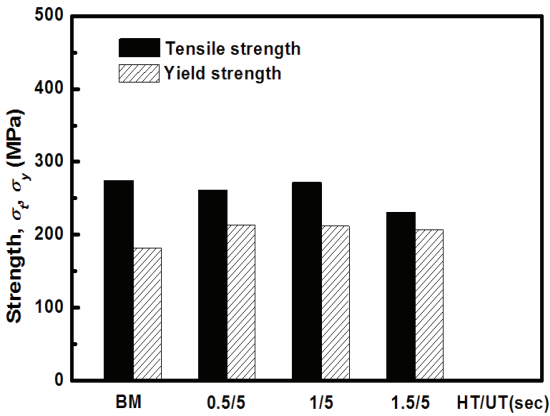


Fig. 9 Strengths vs. HT/UT

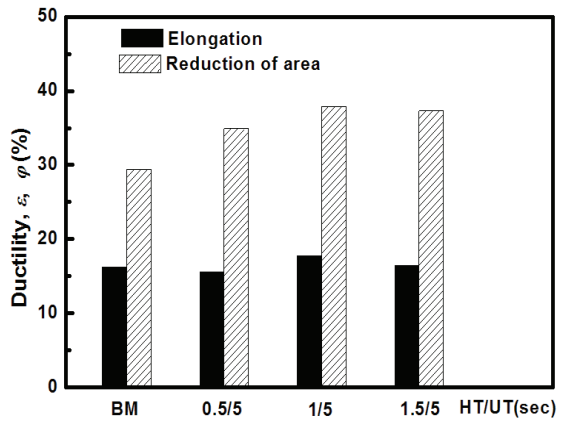


Fig.10 Ductilities vs. HT/UT

다음 실험단계로서 Fig.9에서 보는 바와 같이 회전수 2000rpm, 가열압력 35MPa, 업셋압력 70MPa, 업셋시간 5sec인 조건에서 가열시간을 0.5, 1.0, 1.5sec로 변동시켜 가열시간(HT)과 업셋시간(UT)의 비에 따른 인장강도와 항복강도과의 관계를 나타내었고 그 결과 가열시간이 1.0sec일때가 강도값들이 가장 높게 나타났다.

Fig.10은 모재와 함께 가열시간과 업셋시간의 비(HT/UT)에 따른 연성(연신률, 단면수축률)과의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 업셋시간을 5sec로 고정하고 가열시간을 0.5, 1.0, 1.5sec로 변화하여 실험한결과 가열시간과 업셋시간이 각각 1, 5sec. 일 때 연신률과 단면수축률등은 각각 17.7%, 38%로서 모재의 16.2%, 29.4%보다 높게 나타났다.

결국 재료의 접합특성은 가열압력, 업셋압력, 가열시간 및 업셋시간 등에 의해 크게 영향을 받으므로 이에 성능이 우수한 최적접합조건이 존재하며 본 실험결과에 의하면 가열압력과 업셋압력이 각각 35MPa, 70MPa이고 가열시간과 업셋시간이 각각 1sec, 5sec인 경우에서의 접합이 최적조건으로 생각된다.

Fig.11은 최적접합조건(n=2000rpm, HP=35MPa, UP=70MPa, HT=sec, UT=5sec)에서 접합한 시험편의 경도분포를 나타낸다.

경도측정은 마이크로 비커스 경도시험기를 사용하여 접합부의 중심에서 좌우 8mm까지 0.5mm 간격으로 측정된 결과 재료의 접합계면의 경도치는 약 HV50로서 모재의 경도치 HV55와 비슷하게

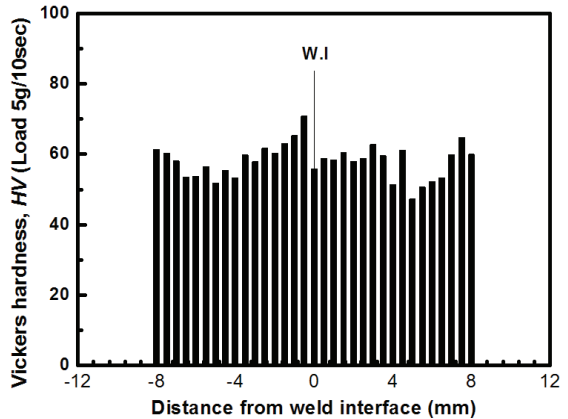
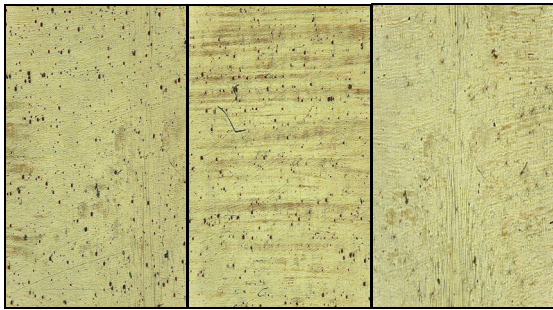


Fig.11 Vickers hardness distribution of joint part

나타났고 HAZ로서 표시되는 열영향부는 대략 좌측과 우측 각각 4mm로 하여 전체 8mm로 사료된다.

Fig.12는 최적접합조건에서 마찰접합한 시험편의 광학현미경 조직사진의 결과를 나타내었다. 조직사진관찰을 위해 금속표면에 에탄올 90ml, 염산 10ml을 15초로 에칭하여 두 접합체의 접합계면(WI), 열영향부(HAZ), 그리고 모재부(BM)를 각각 50배로 관찰하였다.

조직사진에서 접합계면 부근의 두 재료가 계면의 형태가 구별이 잘 되지 않을 정도로 강렬히 접합되었고 접합계면과 더불어 열영향부의 조직사진을 고려해보면 최적조건에서 마찰접합부의



(a)WI (b)HAZ (c)BM  
**Fig.12 Micro-structures of BM, HAZ, and WI**

미세조직은 용융물이나 입자성장이 없는 미세입자의 혼합조직을 이룬 조직상으로 아주 양호한 상태이다.

#### 4. 결 론

이상과 같이 수송기계부품의 경량화를 위해 AZ31마그네슘합금의 마찰접합시 마찰압력, 가열 시간, 엷압력, 그리고 엷시간등의 접합조건에 따른 재료손실량, 인장강도와 항복강도, 연성과 경도값을 측정한 결과 우수한 성능을 지닌 최적 접합조건은 회전수가 2000rpm, 가열압력이 35MPa, 엷압력이 70MPa, 엷시간이 5초, 그리고 가열시간이 1sec에서의 접합이 최적조건으로 생각된다.

그리고 재료의 접합계면의 경도치는 약 HV50로서 모재의 경도치 HV55와 비슷하게 나타났고 HAZ로서 표시되는 열영향부는 대략 좌측과 우측 각각 4mm로 하여 전체 8mm로 추측된다. 또한 조직사진에서 접합계면 부근에서 두 재료가 계면의 형태가 구별이 잘 되지 않을 정도로 강렬히 접합되었고 최적조건에서 마찰접합부의 미세조직은 용

융물이나 입자성장이 없는 미세입자의 혼합조직을 이룬 조직상으로 아주 양호한 상태로 관찰되었다.

#### 후 기

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. W. Choi, 2008, "Automobile Economic; The Trend of Automobile lightweight", pp. 37~47
- [2] O. Khaselev, D. Weiss, J. Yahalom, 1999, J. Electrochem.Soc. 146, p. 1757.
- [3] O. Khaselev, D. Weiss, J. Yahalom, 2001, Corrosion. Sic. 43,0.1295
- [4] AWS, Welding Handbook, 8<sup>th</sup> ed, vol.8, pp. 739~782.
- [5] Ho-Shin Jeong and Takeshi Shinoda, 1997, "Fundamentals and Basic Application of Friction Welding" J. of KWS, Vol. 15, No. 6, December, p. 1
- [6] AWS, Welding Handbook, 6<sup>th</sup> ed, Sec. 3A, American Welding Soc.
- [7] Tylecote R. F., 1968, "The Solid Phase Welding of Materials", Edward Anorld Ltd., pp. 256-257
- [8] Tasaki, Y. and Nakayma N., 1970, "Friction Welding of Ni-based Super Alloyed Nitriding Steed.", 1970, J. Proc. Mech. Mar., 36, pp. 707-711
- [9] Oh S. K., Han S. D. And Lim U. J., 1983, "Effects of Postweld Aging Treatment on Rotary Bending Fatigue Strength of Friction Welded Joints at Elevated Temperature", J. Korea Society of Marine Engineers. Vol. 7, No. 2, pp. 36~49