

Mg-Sn-Al-Zn 합금을 적용한 컨트롤암의 정강도 평가에 관한 연구

이상익¹ · 김병민² · 임성곤³ · 이정환[#]

Evaluation of the Static Strength of a Mg-Sn-Al-Zn Alloy Used for an Automotive Control Arm

S. I. Lee, B. M. Kim, S. G. Lim, J. H. Lee

(Received January 18, 2016 / Revised May 9, 2016 / Accepted May 10, 2016)

Abstract

Magnesium(Mg) alloys have been evaluated as replacements for steel or aluminum parts in the automobile industry because of the fuel economy they can provide through reducing weight. The application of Mg alloys has been limited due to its low formability at room temperature, which results from a small number of active slip systems. In the current study, an extruded TAZ711(Mg-7Sn-1Al-1Zn) alloy was warm forged into an automotive control arm to evaluate its formability at various forging temperature. Warm forging was conducted at temperatures of 200, 250, 350 and 450°C. Static strength evaluation was performed on the as-forged specimen at 250°C. The results showed good static strength.

Key Words : TAZ711 As-extruded, Warm Forging, Control Arm, Formability Evaluation, Static Strength Evaluation

1. 서 론

최근 자동차 산업의 발달함에 따라 연비 개선 및 환경규제에 대응하기 위하여 경량 마그네슘 합금 적용에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 마그네슘 합금은 저밀도, 비강도와 비강성 등의 많은 장점이 있다. 현재 적용되고 있는 철계류 자동차 부품을 알루미늄과 마그네슘 합금으로 대체되는 적용하는 비율이 증대되고 있으며 소재 측면에서 고강도가공재 개발연구가 이루어지고 있다[1~4]. 하지만 조밀육방구조(HCP)를 갖는 마그네슘 합금은 낮은 성형성과 강한 인장과 압축의 소성 비대칭으로 철계류나 알루미늄을 대체 적용하기 어려움이 있다[5~7]. 이러한 마그네슘 합금의 비저면 슬립을 활성화 시키기 위하여 단조 성형 시 온간 및 열간단조로 성

형하고 있으며 성형성 향상에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Yoon은 마그네슘 합금 AZ80압출재를 적용한 자동차의 조향장치 부품인 컨트롤암, 타이로드 및 변속기 부품인 차동기어 케이스를 성형온도 250~350°C에 대하여 온간단조(warm forging) 적용하여 기계적 특성 분석에 관한 연구가 이루어졌다[1, 2]. Yoon과 Lee는 AZ80압출재를 적용하여 스크롤 압축기의 핵심 부품인 선회 스크롤을 배압장치를 이용하여 성형온도 350°C에서 온간단조에 관한 연구가 이루어졌다[3, 4]. 그 외 다양한 마그네슘 합금 압출재를 이용하여 성형온도 별 성형성 평가에 연구가 이루어 졌다[8].

Liu는 성형해석 결과를 바탕으로 마그네슘 합금을 적용한 슈퍼 베벨기어 성형에 관한 연구를 수행하였다[9]. Jiang는 오토바이용 실린더 바디를 마그

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 부산대학교 기계공학부

3. 센트랄 중앙연구소

Corresponding Author : Korea Institute of Materials Science, E-mail: ljh1239@kims.re.kr

네슘 합금을 적용하여 다이캐스팅과 단조 공정을 적용하여 성형에 관한 연구가 이루어졌으며, Dziubinska 는 상용 마그네슘 합금을 적용한 항공기의 브라켓을 새로운 단조 공법으로 성형에 관한 연구가 수행되었다[10,11]

본 연구에서 알루미늄 합금으로 적용되고 있는 컨트롤암(control arm)을 경량화할 수 있는 Mg-7Sn-1Al-1Zn(TAZ711)합금 압출재를 적용하여 온간단조를 실시하였다[12]. 성형온도는 4가지 조건에 대하여 온간단조를 수행하고 성형성(formability) 평가를 실시하였다. 마그네슘 합금 단조품의 적용 가능성을 알아보기 위하여 기계적 특성 및 정강도(static strength) 평가를 수행하였다.

2. 실험 방법 및 조건

현재 적용되고 있는 컨트롤암은 Al6xxx계열의 압출재로 열간단조 후 T6열처리를 통하여 자동차 부품으로 적용되고 있다. Fig. 1은 컨트롤암 성형공정을 나타내고 있다. 컨트롤암은 압출재의 직경 대비 길이 방향의 소성변형이 많은 형상으로 성형성 및 성형하중을 줄이기 하여 2단계 열간단조 공정과 플래쉬(flash)부를 제거하기 위한 트리밍 공정으로 이루어져 있다. 성형된 제품에 대하여 T6 열처리를 통하여 높은 강도를 갖는 제품으로 생산되고 있다. 첫 번째 공정으로 최종형상과 유사한 형태로 예비성형을 실시하는 브로커(blocker)공정을 하게 된다. 브로커 공정을 거친 소재는 작업자에 의하여 성형 제품들이 이송되어 피니셔(finisher) 공정으로 마무리 된다. 공정 시 제품의 성형성 향상 및 성형하중을 최소화하기 위하여 플래쉬부를 형성하여 제품생산을 하게 된다. 마지막으로 플래쉬부를 제거하기 위하여 컨트롤암 전용 로봇암이 트리밍(trimming) 금형으로 제품을 이송시켜 최종 단조품이 된다. 성형이 완료된 제품은 요구되는 기계적 특성을 만족하기 위하여 T6 열처리를 통하여 자동차의 현가장치 부품으로 적용되고 있다. 현재 적용되고 있는 컨트롤암의 기계적 특성은 항복강도(YS, yield stress) 316MPa, 최대인장강도(UTS, ultimate tensile stress) 342MPa와 연신율(El, elongation) 13%를 요구하고 있다. 승객의 안전과 직접적으로 관여하기 때문에 안전율 30% 이상 부과한 것으로 나타난다.

본 연구에서 자동차 현가장치 부품인 알루미늄

Table 1 Chemical composition of Mg alloys

Mg alloy	Chemical composition (%)				
	Sn	Al	Mn	Zn	Mg.
TAZ711	7.0	1.0	-	1.0	91.00

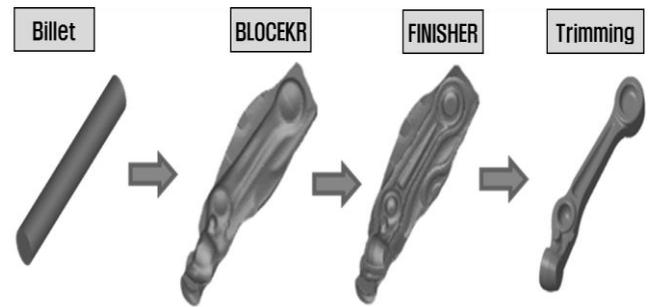


Fig. 1 Warm forging process for a magnesium alloy control arm

Table 2 Forging conditions of control arm

Alloy	TAZ711 as-extruded
Material temperature. (°C)	200, 250, 350, 450
Die temperature((°C)	300
Strain rate (/sec)	5/sec
Specimen size(mm)	∅ 50×450 (cylinder type)
Extrusion ratio	9.3:1
Lubrication	Graphite

합금 컨트롤암을 경량화 할 수 있는 압출비 9.3:1을 갖는 마그네슘 합금 TAZ711 압출재를 적용하였다 (Table 1). Mg-Sn 합금계는 Mg₂Sn 이차상을 형성하여 열적으로 안정하다고 알려져 있으며 TAZ711 합금의 경우 합금 첨가량이 ~9wt%로 상용 마그네슘 합금 AZ31과 AZ80 합금보다 높아 고용강화 및 석출강화 등의 효과가 향상되어 높은 강도를 가질 것으로 예상된다[12].

알루미늄 합금을 대신하여 마그네슘 합금을 적용 가능성을 알아보기 위하여 기존 컨트롤암 단조품과 성형형상 및 성형공정을 동일하게 수행하였다. Table 2 는 온간단조 조건을 나타내고 있다. 성형온도는 200, 250, 350, 450°C에 대하여 수행하였으며 소재 사

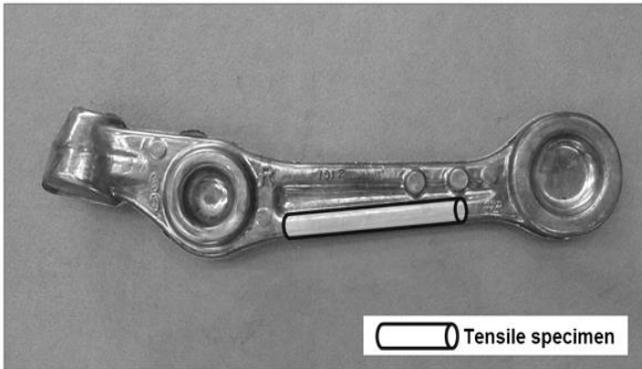


Fig. 2 Sample position for tensile test in control arm

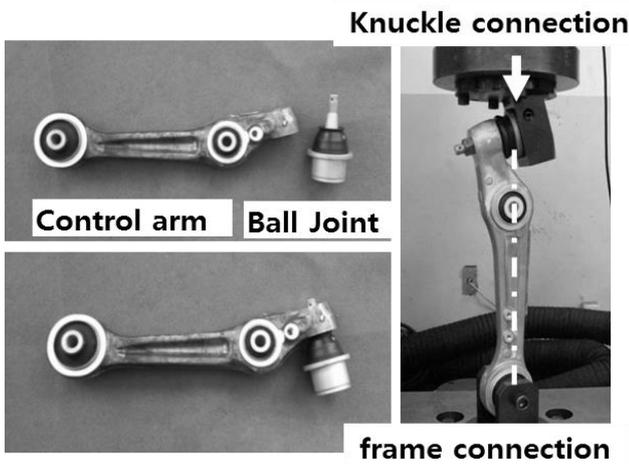


Fig. 3 Static strength evaluation method

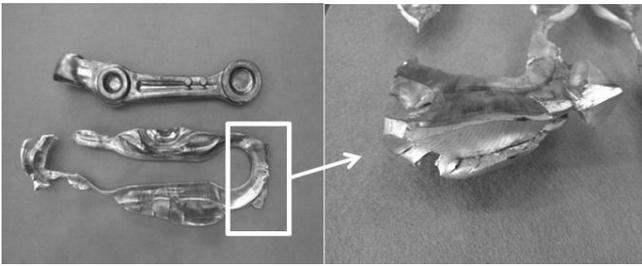
이츠는 직경 50mm, 길이 420mm(\emptyset 50L420)으로 하였다. 소재 가열은 가열 챔버(heating chamber)를 사용하고 소재 중심부에 열전대(thermocouple)를 부착하여 소재가 목표온도에 도달하였는지 확인하였으며 금형 가열은 금형 가열 전용 장치로 상형 및 하형을 고르게 300°C 까지 승온하여 온간단조를 실시하였다. 성형장치는 알루미늄 합금 컨트롤암 단조를 수행하고 있는 4000ton Knuckle press 이용하였으며 프레스 속도는 250mm/sec으로 적용하였다. 온간단조 후 단조품에 대한 기계적 특성 분석을 위하여 인장 시험을 수행하게 된다. Fig. 2 인장시편 채취 위치를 나타내고 있다. 인장시편 채취 위치는 기존 Al합금 컨트롤암 시편 채취 위치와 동일하게 수행하고 시편 규격은 ASTM E8M 으로 기계 가공하여 수행하였다. 기계적 특성 분석 후 적용가능성을 알아보기 위하여 정강도 평가 수행하게 된다. 정강도 평가를 위하여 기계가공을 실시하여 체결부에 부쉬(bush)를

압입하여 조립품에 대하여 수행하게 된다. 현재 적용되고 있는 컨트롤암의 정강도 요구특성은 약 5,000kgf 이상의 강도를 요구하고 있다. 컨트롤암 단조품의 상부는 너클(knuckle)과 연결되는 부분이며 하부는 프레임(frame)과 연결되는 부분으로 가정하고 시험을 진행하게 된다. 시험조건은 알루미늄 합금 컨트롤암 단조품과 동일한 조건으로 펀치 속도 0.3mm/sec에 대하여 정강도 시험을 수행하였다.

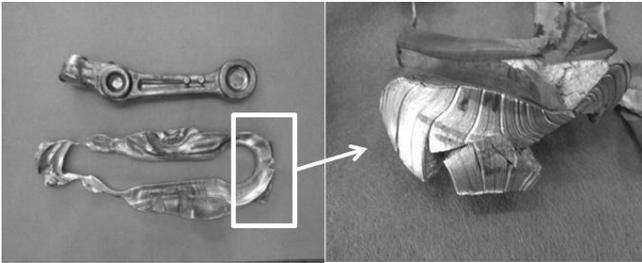
Fig. 3는 컨트롤암 단조품의 가공조립품 형상과 정강도 시험을 위한 지그에 체결된 형상을 나타내고 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

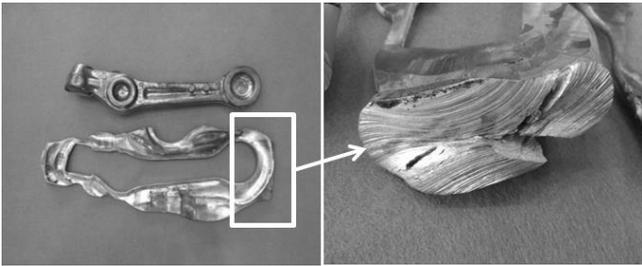
단조품의 성형성 평가는 제품 표면에 생긴 균열, 주름 등의 결함 및 플래쉬부에 발생하는 균열 형상을 육안으로 분석하였다. Fig. 4는 성형온도 별 컨트롤암 단조품을 나타내고 있다. 각 성형온도 별 단조품에 대하여 성형평가인 제품표면에 대한 균열, 주름, 단조결함 등 없이 성형을 완료 하였으며 성형성이 일반적인 상용 마그네슘 합금에 비하여 성형성은 좋은 것으로 나타났다[7]. 하지만 성형온도 200°C에서 단조품의 플래쉬부에서 크랙이 발생하였으며 성형온도가 증가 될수록 크랙은 감소하는 것으로 나타났다. 마그네슘 합금은 낮은 성형온도에서 성형성이 떨어지는 것을 알 수 있으며 성형온도가 증가할수록 소성변형이 많은 플래쉬부의 성형성이 향상되는 것으로 나타났다. Fig. 5은 성형온도 별 상온 준정적(quasi-static, 0.001/sec)으로 인장시험 결과를 나타내고 있다. 성형온도 200°C에서 가장 높은 강도를 나타내었으며 450°C로 성형온도가 증가할수록 강도는 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 성형온도 200°C 단조 후 최대인장강도는 272MPa, 항복강도는 220MPa 과 연신율은 19%로 나타났으며 초기 압출재에 비하여 기계적 특성이 향상되었음을 확인할 수 있다. 하지만 성형온도 250°C에서 항복강도, 최대 인장강도와 연신율은 감소한 것으로 나타난다. 초기 압출재보다 단조 후 인장시험 결과는 상승 하였으나 가장 높은 성형온도 450°C 는 초기 압출재보다 항복강도는 12MPa, 최대인장강도는 11MPa 와 연신율은 2% 정도 감소한 것으로 나타났다. 마그네슘 합금은 성형온도에 따라 기계적 특성이 민감



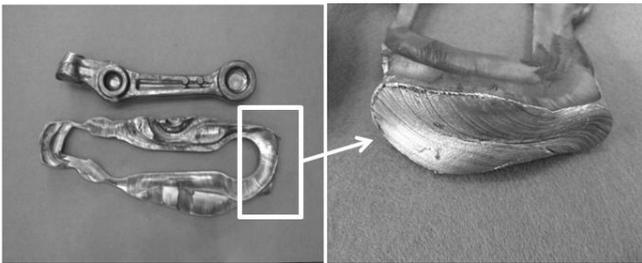
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4 Comparison of the as-forged respect to the forging temperatures: (a) 200°C; (b) 250°C; (c) 350°C; (d) 450°C

하게 반응하기 때문에 성형온도 고려가 중요한 것으로 나타났다. 성형온도 변화에 따른 특성 평가 결과를 종합해 볼 때 성형온도가 상승함에 따른 기계적 특성의 저하는 고온성형에 따른 결정립의 성장에 의한 영향으로 판단된다[7]. 현재 적용되고 있는

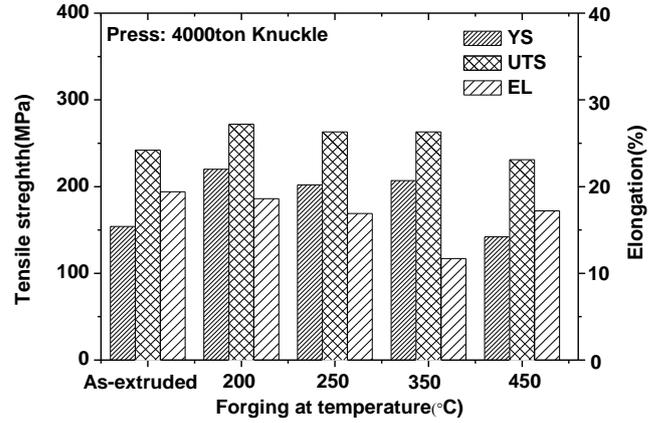


Fig. 5 Comparison of the mechanical properties

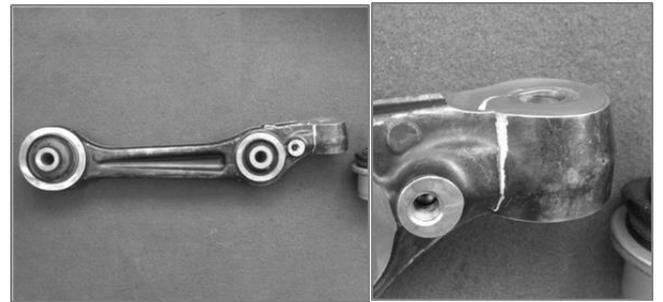


Fig. 6 Static strength result with control-arm forged at 250°C

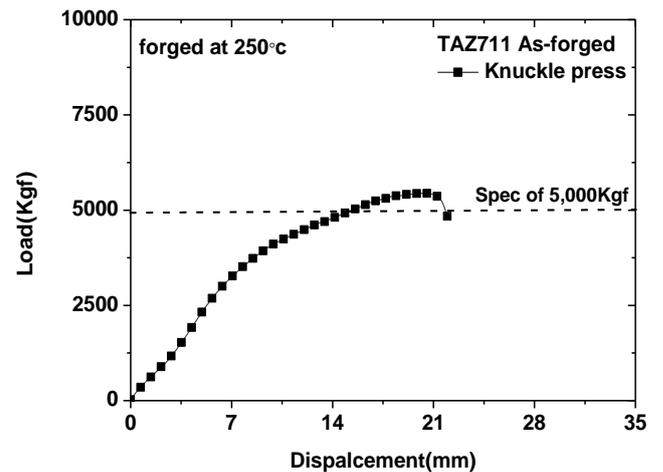


Fig. 7 Static strength tests with control-arm forged at 250°C

알루미늄 합금 보다 마그네슘 합금 컨트롤암의 인장시험 결과가 낮은 인장강도를 갖는 것을 알 수 있지만 이는 적용되고 있는 알루미늄 합금 컨트롤

암의 경우 높은 안전율이 포함된 인장강도를 요구하고 있다. 알루미늄 합금 보다 마그네슘 합금이 낮은 인장강도 결과를 나타내지만 적용가능성을 알아보기 위하여 내구성 평가인 정강도 시험을 진행하였다. Fig. 6은 정강도 시험 후 단조품을 나타내고 있다. 정강도 시험 후 하중이 작용하는 부위에서는 파단 및 균열이 없이 시험이 진행되었으나 너클과 연결되는 부위에서 파단이 일어난 것으로 나타났다. Fig. 7은 정강도 시험 결과를 나타내고 있다. 정강도 특성은 5444kgf까지 강도를 보이다가 너클과 연결되는 부위에서 파단됨에 따라 하중이 급격하게 떨어진 것으로 나타난다. 하지만 낮은 인장강도에서 요구되는 정강도 5000Kgf 보다 444kgf 높은 강도를 낸 것을 확인할 수 있다. 컨트롤암 정강도 요구특성을 만족하는 것으로 보아 높은 안전율이 부과된 것을 알 수 있다. 알루미늄 합금에 보다 TAZ711합금의 컨트롤암이 낮은 인장강도 나타내었지만 요구되는 정강도 평가는 만족하는 것으로 나타났다. 현재 적용되고 있는 컨트롤암 보다 낮은 안전율을 부과하여도 요구되는 정강도 특성은 만족하겠지만 승객의 안전을 위해 보다 높은 강도가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 자동차 현가장치 부품 알루미늄 합금 컨트롤암을 경량 마그네슘 합금 TAZ711압출재를 이용하여 온간단조에 적용하였다. 성형온도에 따른 성형성 평가와 가능성을 알아보기 위하여 인장 및 내구성 시험을 수행하여 분석하였다. 성형온도는 200~450°C 온도에 대하여 수행하였으며 성형온도가 증가할수록 성형성은 향상되는 것을 확인하였다. 성형온도가 증가함에 따라 인장시험 결과는 감소 경향으로 나타났다. 내구성 평가인 정강도 시험을 수행하였으며 정강도 특성은 요구특성 보다 444Kgf 높은 강도로 정강도 평가는 만족하는 것으로 나타났다. 이는 현재 적용되고 있는 알루미늄 합금 컨트롤암의 인장강도 보다 낮은 강도에서도 정강도 평가의 만족으로 적용 가능성을 검증하였으며 적용되고 있는 알루미늄 합금의 컨트롤암 보다 낮은 안전율을 부과해도 될 것으로 나타난다. 하지만 알루미늄 합금을 대체 적용을 위한 마그네슘의 합금 설계 및 성형 공정변수(변형률속도, 성형온도, 마찰, 압출

조건, 열처리 등) 관한 연구가 필요할 것으로 나타난다. 적용되고 있는 알루미늄 합금 컨트롤암을 경량 마그네슘 합금으로 대체 적용 시 30%이상 경량화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] J. H. Yoon, J. S. Lee, J. H. Lee, 2013, Enhancement of the Microstructure and Mechanical Properties in as-forged Mg-8Al-0.5Zn Alloy using T5 Heat Treatment, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 586, pp. 306~312.
- [2] J. H. Yoon, J. H. Lee, Process Design of Warm-Forging with Extruded Mg-8Al-0.5Zn Alloy for Differential Case in Automobile Transmission, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, No. 4, pp. 841~846.
- [3] J. H. Yoon, J. H. Lee, 2014, Effect of Initial Microstructure on Mg Scroll Forging under Warm Forming Condition, Mater. Trans, Vol. 55, No. 2, pp. 238~244.
- [4] S. I. Lee, J. H. Yoon, J. H. Lee, 2014, Mg Scroll Forging with AZ80 under Warm Forming Condition, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 15, No. 7, pp. 1473~1477.
- [5] J. H. Lee, S. H. Kang, D.Y. Yang, 2008, Novel Forging Technology of a Magnesium Alloy Impeller with Twisted Blades of Micro-thickness, CIRP Ann-Manuf. Technol, Vol. 57, pp. 261~264.
- [6] S. D. Kim, S. H. Kang, Y. N. Kwon, J. H. Lee, 2007, A Study on Warm Forging of Magnesium Alloy impeller, Trans. Mater. Process, Vol. 16, No. 4, pp. 288~292.
- [7] J. H. Yoon, S. H. Park, 2014, Forgeability Test of Extruded Mg-Sn-Al-Zn Alloys under Warm Forming Conditions, Mater. Des, Vol. 55, pp. 300~308.
- [8] D. J. Yoon, E. Z. Kim, Y. S. Lee, 2007, Finite Element Study on Deformation Characteristics and Damage Evolution in Warm Forging Backward Extrusion of AZ31 Mg Alloy, Trans. Mater. Process, Vol. 16, No. 8, pp. 614~620.
- [9] J. Liu, Z. Cui, 2009, Hot Forging Process Design and Parameters Determination of Magnesium Alloy AZ31B Spur Bevel Gear, J. Mater. Process. Technol.,

- Vol. 209, No. 18, pp. 5871~5880.
- [10] J. Jiang, Y. Wang, Y. Li, W. Shan, S. Luo, 2012, Microstructure and Mechanical Properties of the Motorcycle Cylinder Body of AM60B Magnesium Alloy Formed by Combining die Casting and Forging, Mater. Des, Vol. 37, pp. 202~210.
- [11] A. Dziubińska, A. Gontarza, K. Horzelska, P. Pieśkoa, 2015, The Microstructure and Mechanical Properties of AZ31 Magnesium Alloy Aircraft Brackets Produced by a New Forging Technology, Procedia Manuf., Vol. 2, pp. 337~ 341.
- [12] S. H. Park, H. S. Kim, B. S. You, Extrudability and Tensile Properties of the Mg-7Sn-1Al-1Zn Alloy, Korean. J. Met. Mater, Vol. 51, No. 9, pp. 637~644.