

논문

# 용탕단조 시 저온염코어 적용 가압력의 영향

이준호 · 문중화 \* · 이덕영 \*\*†

현대자동차 기술연구소  
\*동양피스톤(주)

\*\*한국과학기술연구원 기능금속재료연구센터

## Effect of Applying Pressure of High Pressure Diecasting Process Using Salt core

Jun-Ho Lee, J. H. Moon\*, and Dock-Young Lee\*\*†

R & D Division for Hyundai Motor Co. & Kia Motors Corp., # 772-1, Jangduk-dong, Hwasung-si, Gyunggi-do 445-706, Korea

\*R & D Center, Dong Yang Piston Co., LTD. 1050, Singil-Dong, Danwon-GU, Ansan-City, Kyungki-Do, 425-839 Korea

\*\*Division of Materials, Korea Institute of Science and Technology, P.O.Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

### Abstract

A new concept of salt core, a melting temperature of which is lower than the solidus temperature of cast alloy, was introduced to produced an integrated casting part having a complicated inner shape or requiring under-cut in high pressure die casting or squeeze casting process. The main goal of this study is to develop a new integrated net-shape forming technology using fusible core of lower melting temperature than that of a casting alloy. This integrated net-shape forming technology would be very successful and cost-effective for producing the integrated products having a complicated inner shape or requiring under-cut. The technology for measuring and evaluating a various property of fusible core such as a thermal conductivity and thermal expansion coefficient, melting temperature was established. Also, the work space can be cleaned without a pollution inducing products.

**Key words** : Salt core, Squeeze casting, High pressure die casting, Net-shape forming

(Received April 7, 2008 ; Accepted May 20, 2008)

### 1. 서 론

최근 알루미늄 주물과 마그네슘 주물의 제조에 다이캐스팅, 저압주조, 및 용탕단조 등 압력을 이용하는 주조법의 적용이 크게 증가 하고 있다. 이러한 주조 방법은 중력주조에 비하여 용탕의 주입 및 금형에 충진을 임의로 제어하고 기계화할 수 있어 생산성 향상과 불량률 감소 및 치수정밀성 향상이 그 주요한 장점들이다.

저온염 용융 코어 적용 복합주조기술은 일체화성형부품의 경량화와 모듈화를 위한 핵심기반기술이다.

용융코어제조 및 특성평가의 목적으로는 고품질 용융코어재료를 개발하여 합금과 코어사이의 최적화 방안을 세우는데 의미가 있다. 특히 여러 개의 부품을 모듈화나 일체화시키면 복잡한 내부 형상의 일체화 부품으로 되는 경우가 많이 발생하게 된다. 또한 품질이 다른 재료를 일체화하면 일체화된 부품은 고품질의 특성을 유지하여야 한다. 따라서 내부형상이 복잡한 고품질의 일체화 부품을 제조할 수 있는 주조기술의 개발이 요구되고 있다. 현재까지 복잡한 내부형상을 구현하기 위하여 대부분 셸(shell)코어를 사용해 왔다. 그러나 셸코어는 강도가

약해 취급시 쉽게 부서지거나, 결합제로 사용되는 레진 냄새와 재활용이 쉽지 않아 작업장 환경과 원가절감에 커다란 문제를 안고 있다. 또한 코어표면이 미려하지 않아 중력주조제품 생산에만 사용되고, 고압주조시 코어표면으로 용탕침투가 일어나기 때문에 원가절감과 고품질에 유리한 다이캐스팅이나 용탕단조제품에는 사용이 불가능하다. 한편 자동차용 주철주물제품들은 최근 부품 경량화와 고성능화 요구에 부응하기 위해서 알루미늄 제품으로 개발되고 있다.

용융코어(fusible core)는 기존의 코어와는 다르게 용점이 270~520°C 정도인 저융점 화학염(salt)을 기본소재로 사용하며, 세라믹입자를 첨가하여 강도와 코어물성을 향상시킨다. 이들 코어는 용융금속이 저속/고속으로 주입되어도 코어가 파괴되거나, 용융금속이 코어내부로 침투되지 않는 장점을 가진다. 이는 열전도계수가 금형재질인 특수강의 약 1/400정도로 매우 낮아서 코어가 열적 변형이 되기 전에 용융금속의 표면응고층을 형성시킬 수 있기 때문에 다이캐스팅을 하여도 코어의 파괴는 없고, 코어의 복잡한 형상을 그대로 구현할 수 있다. 또한 코어 제거방법도 종래의 방법과 달리 성형제품을 코어의 용융온도보다 20~30°C 이상의 온도에서 1~2분 가열하면 코어는 액체상

†E-mail : dylee@kist.re.kr

태가 되어 추출이 가능하고, 액체상태의 코어재료는 다시 재활용이 가능하여 환경오염이나 산업폐기물이 발생되지 않는다.

본 실험에 적용한 용탕단조법(Squeeze casting)은 금형에 용융금속을 주입한 후 유압장치를 이용하여 기계적 고압력을 용탕에 가하여 정해진 금형공간을 충전 시킴과 동시에 50~200 MPa 가압하에서 응고 완료시키는 주조공정으로서 전반은 중력주조와 같고 후반은 형단조와 같아서 용탕단조법이라 칭하며 치밀한 조직이 얻어지고 기계적 특성도 다른 주조품보다 우수한 것으로 보고[1-3]되어 있다. 현재까지의 고압응고 및 용탕단조법에 대한 연구[4-7]들은 주로 알루미늄과 동합금의 응고 조직과 기계적 성질들에 대한 가압력과 가압조건등의 영향을 실험적으로 조사하고 그 특성들을 살펴보는 것이었다. 이러한 연구는 용탕단조에 의해 고품질제품 제조 가능성을 제시하여 실용화면에서 연구를 많이 하게 하였고 실제 기본원리가 되는 응고현상에 미치는 가압력의 영향에 관해서는 연구가 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 저융점 코어를 용탕단조에 적용하여 가압력(중력, 1000 kg/cm<sup>2</sup>) 증가에 따라서 용탕과 용융코어의 적합성을 평가하였다. 펀치의 가압력이 증가함에 따라서 열전달계수가 변하는 것을 측정하였다. 가압된 용탕의 미세조직을 관찰하여 비교 분석하였다.

## 2. 시험 방법

### 2.1. 고압 주조 장치 및 시편제조

#### 2.1.1. 고압 주조 장치

실험장치는 50 ton 수직 가압식 유압 프레스 장치를 사용하였고, 응고 실험은 중력 응고 실험과 1000 kg/cm<sup>2</sup>의 가압 실험으로 나누어 실험을 진행하였고 Fig. 1은 장치의 개략도이다. 금형은 SKD61종을 사용하였다.

SKD61종 강재의 성분을 Table 1에 나타내었고, Al-7 wt%Si 합금의 성분을 Table 2에 나타내었다.

#### 2.1.2. 시편 제조

실험조건을 Table 3에 나타내었다.

##### 1) 중력 응고 실험

Ceramic weight% 60% core (외경 Ø20 높이 75 mm)를 mold 내부 중앙에 고정시킨 후 주입온도 650°C에서 중력 실험을 진행하였다.

##### 2) 가압 실험

Ceramic weight% 60% core(외경 Ø20 높이 75 mm)를 외경(Ø50)인 상 펀치에 내경(Ø20), 높이 5 mm인 구멍을 뚫고 고

정을 시킨 후 금형에 용탕(650°C)을 주입 후 유압 프레스의 ram을 하강시켜 가압 펀치를 통하여 정해진 가압력(500 kg/cm<sup>2</sup>, 1000 kg/cm<sup>2</sup>)으로 가압실험을 하였다. 용탕, core, mold 사이의 열전달 관계를 규명하기 위하여 용탕의 65 mm되는 지점, core의 65 mm되는 지점, mold 내벽에 thermocouple을 고정시키고 온도측정을 하였다. 온도 측정은 Data Acquisition System을 이용하였다.

#### 2.1.3. 조직 분석 방법

응고 실험을 통하여 얻어진 시료들의 종단면을 절단하여 mounting 후 표면연마를 한 후 표면부식액의 조성비로 증류수 99 ml에 1 ml의 불산을 넣은 부식액으로 약 10~15초간 시료를

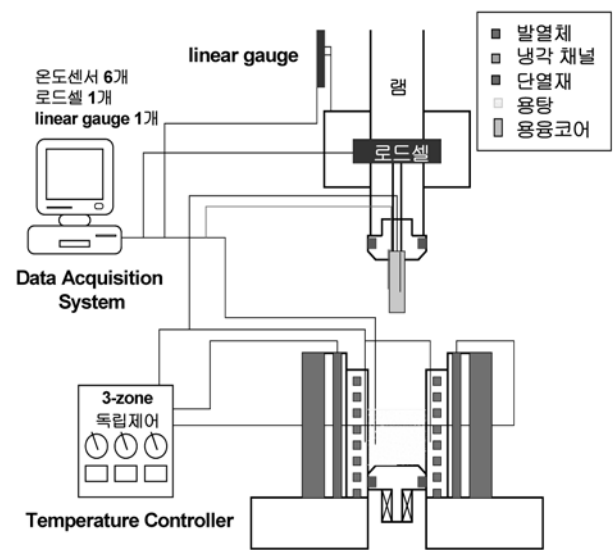


Fig. 1. Squeeze casting device.

Table 3. Experimental conditions.

| Parameter                | Condition   |
|--------------------------|---|
| Alloy                    | Al-7 wt%Si  |
| Casting temperature (°C) | 650°C   |
| Mould temperature (°C)   | 250°C   |
| Applied pressure (MPa)   | Gravity, 500 kg/cm <sup>2</sup> , 1000 kg/cm <sup>2</sup> |
| Pressing time (s)        | 1min  |
| Mould coating            | Boron nitride   |
| Moulding material        | SKD61   |
| Sample size              | Ø50   |

Table 1. Chemical composition of materials.

| Alloy       | C         | Si        | Mn        | P       | Cr        | Mo        | V         | Fe   |
|-------------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|------|
| SKD61 (H13) | 0.35~0.42 | 0.80~1.20 | 0.30~0.50 | < 0.030 | 4.80~5.50 | 1.20~1.60 | 0.50~1.10 | Bal. |

Table 2. Chemical composition of materials.

| Alloy      | Cu   | Mg        | Mn   | Si      | Fe  | Zn   | Ti   | Al   |
|------------|------|-----------|------|---------|-----|------|------|------|
| Al-7 wt%Si | 0.25 | 0.20~0.45 | 0.35 | 6.5~7.5 | 0.6 | 0.35 | 0.25 | Bal. |

부식시킨 후 미세조직을 광학현미경으로 조직 변화 과정을 관찰하였다. 그리고 거시조직을 관찰하였다. 이때 부식액 조성은 증류수 25 ml에 염산 20 ml, 질산 20 ml, 불산 5 ml 였다. Fig. 2는 실험에 대한 흐름과 절차에 나타내고 있다. 이러한 실험의 흐름에 따라 실험을 전개하였고 용탕의 적합성 평가를 하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 세라믹 코어를 사용하여 중력 응고 실험과 가압응고실험을 하였다. 미세조직, 거시조직분석으로 용탕과 코어사이의 적합성 평가를 하였다.

#### 3.1.1. Al-7Si(A356) 냉각 곡선

본 실험에서는 Al-7 wt%Si (A356) 합금을 사용하였다. 이

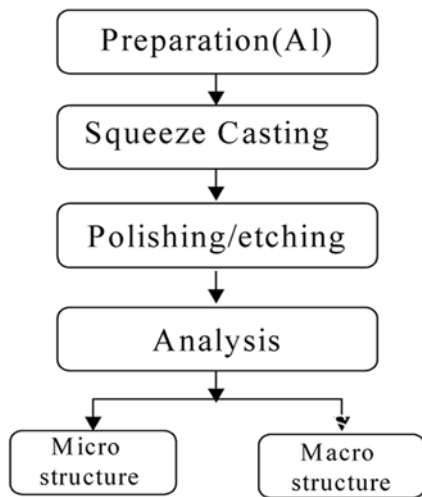


Fig. 2. Flow chart of experiment procedure.

합금은 액상선 615°C, 공정온도 568°C를 갖는다. 아래의 Fig. 3는 데이터 측정장치(Data acquisition system)을 이용하여 중력 실험을 이용하여 Al-7 wt%Si 합금의 냉각 곡선을 얻은 것이다.

#### 3.1.2. 주조 가압력에 따른 저온염코어 적합성

Ceramic weight 60% 코어를 사용하여 중력 응고 실험과 가압 응고 실험(1000 kg/cm<sup>2</sup>)으로 나누어 진행하였다. 미세 조직, 거시 조직 분석으로 용탕과 코어사이의 적합성 평가를 하였다.

### 4. 조직 관찰 및 고찰

Fig. 4는 Salt 60 wt% Ceramic의 코어를 사용하여 중력응고 실험결과이다. 응고 초기에서 말기(코어와 닿는 부분)로 진행할수록 조직이 조대화 되었다. 거시조직 분석 결과 코어의 형상이 유지되었다. 표면이 매끄러움을 볼 수 있었다. Fig. 5

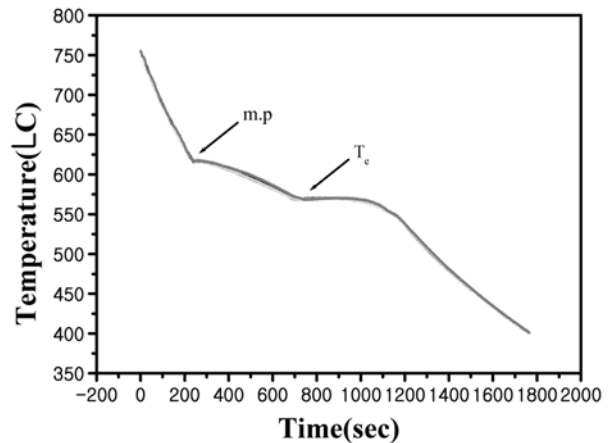


Fig. 3. Cooling curve of A356 alloy.

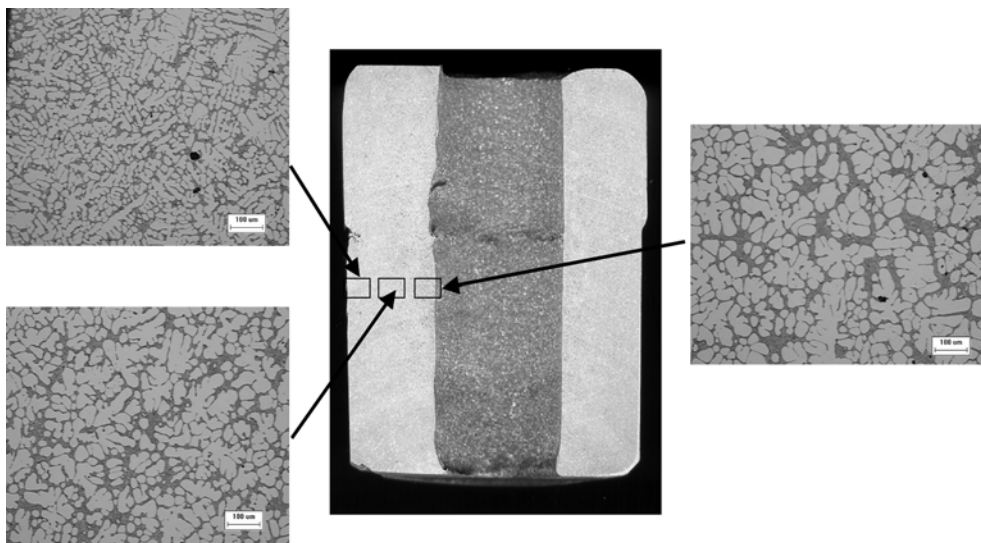


Fig. 4. Microstructures of gravity cast specimen using fusible core added 60 wt% ceramic powder.

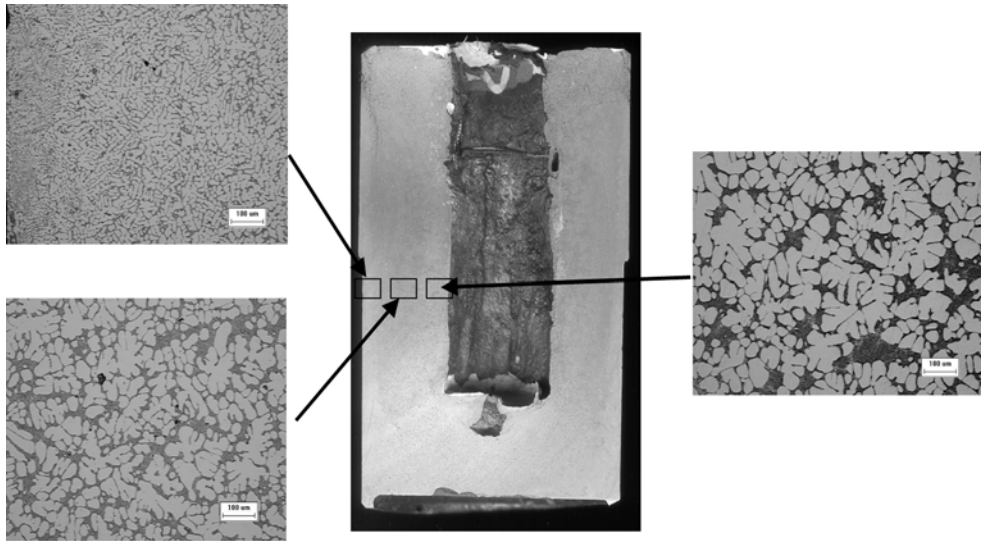


Fig. 5. Microstructures of squeeze cast specimen at a pressure of 1000 kg/cm<sup>2</sup> using fusible core added wt 60 wt% ceramic powder.

Salt 60 wt% Ceramic의 1000 kg/cm<sup>2</sup>에서 가압 실험한 결과이다. 응고 초기에서 말기(코어와 닿는 부분)로 진행할수록 조직이 조대화 되었다. 중력 주조와 비교 하여 보면 표면 가압력의 증가로 냉각속도가 증가되어 초기 응고 층인 chill zone이 나타남을 관찰 할 수가 있었다. 거시 조직 분석 결과 가압 시 열전달이 빨라져 코어의 표면이 녹아내려 상당히 표면이 거칠어짐을 볼 수가 있었다. 또한 용융코어는 가압력의 증가에 따라 불안정한 거동을 보이고 있음도 관찰할 수 있다.

Fig. 6에 salt 60 wt% ceramic 코어를 사용하여 중력 주조 하였을 경우의 냉각곡선을 나타내었다. 중력주조의 경우에는 후술할 가압주조의 경우와 비교하여 느린 응고속도를 보이고 있다. 용탕을 주입한 후 약 10초 정도에서 응고는 완료되고 있으며 응고의 전후에 용탕과 코어 계면에서의 열전달에 의해 코어의 온도가 증가하고 있다. 코어의 온도는 약 60초 이후에 주조품의 온도보다 높아지고, 최대온도인 약 300°C에 도달한 후 감소하고 있다. 용탕의 응고가 완료되는 약 10초 정도에서는 코어의 온도 상승이 120°C미만으로 코어의 형상을 잘 유지하고 있음을 예상할 수 있다. 즉, 응고의 완료시까지 코어가 용융되지 않음에 따라 주조품의 표면이 매끄럽게 나타난 것으로 판단된다. Fig. 7은 60 wt%의 salt를 함유한 ceramic 코어를 사용하여 1000 kg/cm<sup>2</sup>의 가압력 하에서 주조한 경우의 온도변화를 나타낸 그림이다. 전술한 중력 주조한 경우에 비하여 응고속도가 매우 빠르고 몰드와 코어의 온도상승 및 강하속도도 빠름을 관찰할 수 있다. 이것은 가압력의 작용에 의해 용탕과 코어 및 몰드 사이의 열전달 계수가 급격히 증가되었기 때문이며, 중력주조조건에 비하여 약 10배 정도 열전도율이 빨라진 것을 확인할 수 있다.

그림에서 알 수 있듯이 응고는 5초 이내에 완료되고 있으며, 중력주조의 경우와는 달리 코어의 온도도 가압과 동시에 급격히 상승하여 최대온도 300°C에 이른 후 감소하고 있다. 코어 내부에 부착한 열전대의 반응 시간을 고려할 때, 응고가 완료되기 전인 수 초 이내에 코어의 온도는 용융점이상 에 이르게

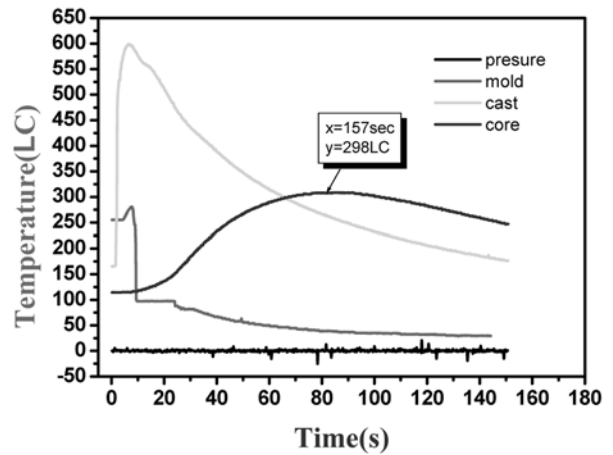


Fig. 6. Cooling curves of gravity cast specimen using fusible core added 60 wt% ceramic powder.

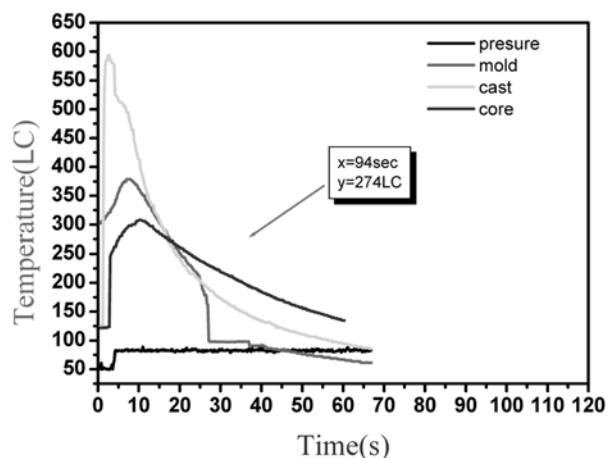


Fig. 7. Cooling curves of squeeze cast specimen at a pressure of 1000 kg/cm<sup>2</sup> using fusible core added 60 wt% ceramic powder.

되어 코어의 형상을 유지하지 못하고 주조품의 표면결함을 야기하는 것으로 판단된다. 즉, 가압주조의 경우 코어의 용융은 용탕의 응고 이전에 시작되어 주조품의 표면품질을 유지하지 못하는 것으로 판단되며, 주조품의 표면을 유지하기 위해서는 코어의 표면에 열전달을 감소시키기 위한 코팅을 시행하거나, 가압력의 감소, 그리고 코어 중의 salt 함량조절 등의 방안을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 코어를 사용하여 중력 주조하였을때 코어의 형상이 유지되었고 양호한 주조시편을 얻을 수 있었으나, 가압주조의 경우 가압력(1000 kg/cm<sup>2</sup>)이상에서는 코어의 표면이 용해되었다.
2. 가압주조의 경우 용탕과 코어사이의 계면열전달의 증가로 가압의 초기에 코어의 온도가 상승하여, 응고완료 이전에 코어 표면의 용융이 시작되는 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Fatih Cay, S. Can Kurnaz, Mater. & Design, "Hot tensile and fatigue behaviour of zinc-aluminum alloys produced by gravity and squeeze casting", 26 (2005) 479-485.
- [2] T. M. Yue, Jour. of Mater. Process. Tech., "Squeeze casting of high-strength aluminium wrought alloy AA7010", 66 (1997) 179-185.
- [3] Z.W. Chen, W.R. Thorpe, Mater. Sci. and Eng. A, "The effect of squeeze casting pressure and iron content on the impact energy of Al-7Si-0.7Mg alloy", 221 (1996) 143-153.
- [4] M.A. Sava, S. Altintaş, Mater. Sci. and Eng. A, "Effects of squeeze casting on the wide freezing range binary alloys", 173 (1993) 227-231.
- [5] P.V. Evans, R. Keyte, R.A. Ricks, Mater. & Design, "Squeeze casting of aluminium alloys for near net shape manufacture", 14 (1993) 65-67.
- [6] A Bloyce, J.C Summers, Mater. Sci. and Eng. A, "Static and dynamic properties of squeeze-cast A357-SiC particulate Duralcan metal matrix composite", 135 (1991) 231-263.
- [7] M. R. Ghomashchi, K. N. Strafford, Jour. of Mater. Process. Tech., "Factors influencing the production of high integrity aluminium/silicon alloy components by die and squeeze casting processes", 38 (1993) 303-326.