

가스터빈용 단결정 주조블레이드 제조공정에 관한 연구
**(A Study on Manufacturing Process of Single Crystal
 Cast Blade for Gas Turbine)**

한국과학기술연구원 : 안성욱, 임옥동, 정우상, 김창효 고려대학교 : 허무영

1. 서론

항공산업, 발전, 고성능·고효율가스터빈 및 대형선박등의 급격한 발전 및 첨단화에 따라 핵심기술인 주조 블레이드 사용온도 및 수명 향상에 주력하고 있다. 그결과 90년대에 이르면서 이미 단결정 주조 블레이드가 상용화되어 사용하고 있으나, 국내에서는 그 기술이 거의 전무한 상태이다. 따라서 본연구에서는 CMSX 6를 사용하여 국내최초로 본 연구팀이 개발한 진공정밀주조로에서 제작한 단결정 주조블레이드 제조공정을 소개하고자 한다. 특히, 단결정주조시 결함인 아결정($> 10^\circ$), Fereckle, inclusions, 주조수축 및 기포등을 제거하여야 하므로, 단결정성장시 고상의 단결정과 액상간의 온도구배와 냉각속도를 제어하여야 한다. 본 연구에서는 주조수축제거에 역점을 두었다.

2. 실험방법

본 연구팀이 자체설계 및 제작한 양산용 진공주조로(국내최초)에서 셀렉터법으로 단결정 블레이드를 제작하였다. 단결정과 주조공정의 온도구배 및 속도에 따른 결함지도(defect map)를 구하고, 선진국의 시험결과와 비교분석하였다. 즉, (1) 1600-1800℃에서 단결정 주조가 가능한 세라믹주형을 개발하였으며, (2) 온도구배($G = 20-30 \text{ }^\circ\text{C/mm}$) 및 냉각속도($v = 1-10 \text{ mm/min}$)를 변수로 하여 양산개념으로 단결정 블레이드 및 시편을 제작하였으며, 이때의 주형온도는 약 1600℃, 용탕주입온도는 1550℃ 및 진공도는 $5 \times 10^{-2} \text{ torr}$ 였다. (3) 이렇게 제작한 단결정의 결함, 결정구조 및 미세조직등을 분석하여, 아헨공대의 defect map과 비교하여 그 결과를 나타내었다.

3. 실험결과

주조냉각속도(약 20 cm/min)를 거의 일정하게 유지하고, 온도구배를 달리하여(30-82 $^\circ\text{C/cm}$) 주조수축에 의한 기포를 관찰한 결과, Paul이 실험적으로 보고한 결과와 일치하지 않았다; Paul에 의하면 온도구배, 30-45 $^\circ\text{C/cm}$ 에서 주조수축이 발견되어야 하나, 본 연구에서는 발견되지 않았다. 즉, 주조 블레이드의 기계가공부위의 오직 한 부위만이 계속적으로 주조기포가 생성되었을 뿐이었으며, 다른 부위에서는 주조결함이 관찰되지 않았다. 그러므로, 주조수축등의 주조결함은 일정한 변수에 의해 발생되지 않고, 단결정성장로 하단부에 위치한 baffle의 영향 및 주조물자체의 냉각속도등도 고려하여야 함을 알 수 있었다.