

## 초내열합금 HIP 성형을 위한 금형설계

임정숙\* · 염종택\* · Hongliang Hou\*\* · 박노광\*

### Die design for HIP'ing of Nickel-base Superalloys

J. S. Lim\*, J. T. Yeom\*, H. L. Hou\*\*, N. K. Park\*

#### Abstract

Nickel base superalloys are widely used for high temperature applications due to heat resisting capability and corrosion resistance at high temperatures. Superalloys with many strengthening alloying elements are frequently used in powder form to alleviate harmful effects of alloy segregation. HIP (hot isostatic pressing) and DB (diffusion bonding) as a form of solid-state bonding process is used to make turbine components, such as integrated turbine rotors. HIP/DB process requires many technical overcomes related to dimensional changes as well as microstructural control.

In this research, HIP/DB process for nickel base superalloys, Udimet 720 and MM 247, were investigated with a view to control the dimensional change during the consolidation process. Simple disc-shaped cans were used to select the conceptual die design for the control of the dimensional change especially in radial direction. The change in the shape of consolidated shape was investigated using commercial FE code with constitutive equations for low temperature plasticity deformation.

**Key Words** : Udimet720, HIP, 확산접합, 블리스크

#### 1. 서 론

고강도 Ni 합금은 고온에서 기계적특성과 함께 내산화성이 우수하기 때문에 항공용, 육상용 가스 터빈은 물론 증기터빈, 디젤엔진 등 내열기관에 광범위하게 사용되는 합금이다. 고강도 Ni 합금에는 Ti, Al 원소 등 석출경화형 합금이 다량 포함되어 가공성, 접합성이 상대적으로 나쁘기 때문에 원소재의 특성을 유지하면서 에너지 절감, 공정 단축 등의 요구를 만족하는 일체화성형부품을 제조하기 위해서는 분말초내열합금을 이용한 접합 기술 개발이 절실히 요구되는 실정이다. 해외에서는 약 25 년 전부터 니켈기 초내열합금 분말 성형품이 사용되어 왔으나<sup>(1)</sup> 국내에서는 니켈기 초내열합금 분말의 HIP/DB (열간정수압성형/확산접합)

에 관련되어 발표된 보고는 거의 없다.

특히 고강도 니켈기지 합금을 이용하여 블레이드와 디스크가 일체화된 블리스크를 제작할 경우 접합부위에서의 기계적, 화학적 특성이 시스템 전체의 특성발현에 중요하기 때문에 공정변수를 최적화한 접합기술개발은 매우 중요하다. 국내에서는 블레이드에 적용가능한 천이액상확산접합(TLP bonding)에 관한 기초적인 연구가 일부 진행되었을 뿐<sup>(2)</sup>, 블리스크 제작에 적용될 수 있는 최적의 기술로써 HIP/DB 기술에 대한 보고는 거의 없다. 본 기술의 특징은 일반적인 용접법과는 달리 두 소재를 용점이상으로 가열할 필요가 없으므로 접합부위에 열영향부가 생성되지 않고 강화 원소의 산화효과가 없어 접합부에서 인장 및 피로강도가 크게 저하되지 않는다는 장점이 있다.

\* 한국기계연구원 공정연구부, \*\* On leave from BAMTRI

이처럼 용접성이 열악한 고강도 Ni 기지 초내열합금의 접합에 HIP/DB 활용가치는 매우 크다. 현재 대부분의 터보기기에 적용되는 블레이드와 디스크 조립품의 경우, 블레이드 root 부위와 디스크 rim 부위를 fir-tree type 으로 가공하여 조립한 것이 이용되고 있다. 최근 기존의 조립식 터빈 블레이드/디스크에 비하여, 디스크에는 금속분말을 이용하고 블레이드에 주조용합금을 이용하여 HIP/DB 일체화성형시킨 블리스크를 이용할 경우, 디스크부와 블레이드부의 요구특성에 맞는 dual property 를 구현함으로써 엔진의 공력 효율을 극대화시킴과 동시에 fir-tree 를 제거함으로써 엔진의 경량화, 소형화를 이룰 수 있다.

본 논문에서는 이들 부품제작에 적용하기 위한 기술개발의 일환으로 HIP/DB 를 이용하여 이중소재인 U720 분말을 이용하고 확산접합으로 블리스크를 제작하기 위한 금형을 설계하고자 하였다. Deform-2D 를 이용하여 성형체의 형상변화를 측정하였으며, 이중 소재의 확산접합에 대한 기계적 특성은 기존의 문헌을 참고하였다<sup>(3)</sup>.

## 2. 시뮬레이션 방법

### 2.1 시뮬레이션 조건

본 연구에 사용된 HIP/DB 용 분말 소재는 표 1 과 같은 나켈기지 초내열합금인 Udimet 720 이며, 캔 소재는 AISI302 (mild steel) 혹은 Udimet720 를 사용하였다. HIP/DB 성형을 위한 HIP chamber 온도와 압력 그래프는 아래의 Fig.1 과 같다. 즉, 가열 및 냉각 속도는 10°C/min 이며, 최대 온도 1100 °C, 압력 100MPa 에서 3h 유지하였는데, 이는 HIP 후 최적의 기계적 특성을 나타내는 조건이며 특성시험과 기존의 문헌을 참고하여 결정한 것이다<sup>(3)</sup>. HIP/DB 공정시점에서의 분체 Grain density 는 0.68 로 설정하였다. Hip 공정에 대한 수치해석은 DEFORM 2D 코드를 사용하였다.

Table 1. Chemical composition of Udimet 720

(unit: wt.%)

Element	C	Cr	Co	Mo	W
Content	.025	18.0	14.8	3.0	1.3
Element	Ti	Al	B	Zr	Ni
Content	5.0	2.5	.035	.035	Bal.

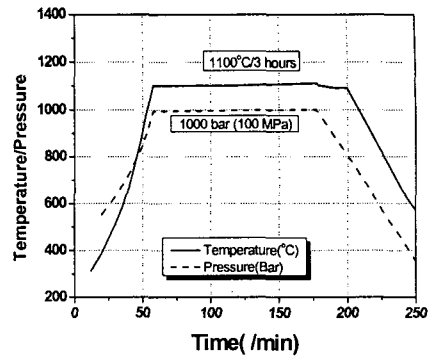


Fig. 1 Graph of heating and cooling rate via pressure rate

### 2.2 캔의 형상설계

HIP 을 위해 고안된 캔의 형상은 모두 4 종류이며, Fig.2 에 그 형상을 나타내었다. Fig.2 에서 해치로 표현된 영역은 캔의 1/4 단면을 나타내고 있다. Fig. 2(a)는 캔의 두께가 2mm 로 모두 같다. Fig. 2(b)는 캔의 세로 외벽이 수축하는 것을 줄이고자 캔의 중앙에 직경 10mm 의 hole 이 있는 형태이다. Fig.2(c)는 Fig.2(b)의 hole 이 있는 경우와 비교하기 위한 것으로 hole 대신 직경 10mm 의 블록을 넣었다. Fig.2(d)의 경우 캔 외벽의 두께에 따른 영향을 알아보기 위해 두께를 조절하여 5, 10, 20mm 로 각각 시뮬레이션 하였으며, 마지막으로 캔 소재에 따른 영향을 알아보기 위해 외부 두께가 20mm 인 경우 소재만 달리 하여 해석하였다.

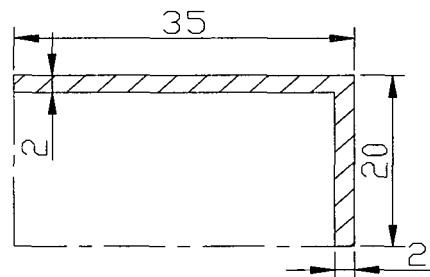


Fig. 2(a) Geometry of the simple can with uniform wall thickness.

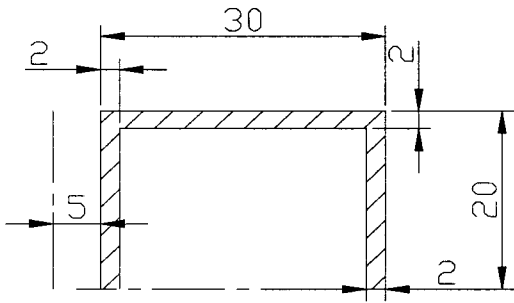


Fig. 2(b) Block diagram of the can with a center hole

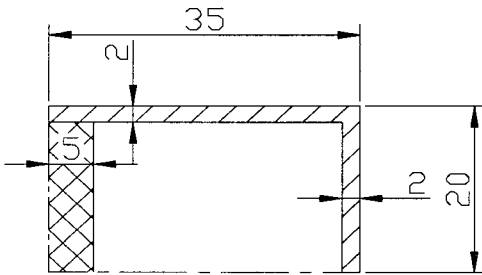


Fig. 2(c) Block diagram of the can with a block in the middle

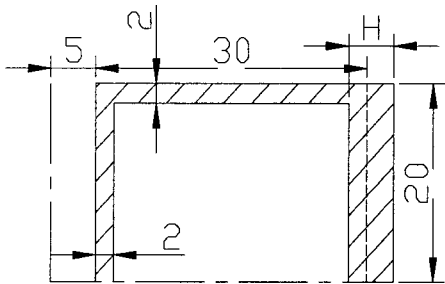


Fig. 2(d) Block diagram of can with a center hole and thick wall

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 캔 형상에 따른 shape 비교

HIP/DB 성형에 의한 블리스크에서 중요한 부분은 디스크와 블레이드가 접합되는 방향인 가로방향수축의 제어가 필요하다. 각 경우에 대한 가로 및 세로 길이방향의 수축정도를 Fig. 3에 나타내었으며, 외부 실선은 초기 캔 형태이며 메쉬로 나타낸 부분은 공정 직후의 캔의 형태를 나타낸다.

각 경우 수축률은 Table 2와 같다. CASE 4-1, 4-2, 4-3의 수축률을 비교해보면 캔 외벽이 두꺼울수록 세로수축이 심하게 일어나며, 상대적으로 가로수축은 저조하게 일어남을 알 수 있다. Fig.4는 온도에 따른 캔 내부의 밀도 변화를 나타내고 있다.

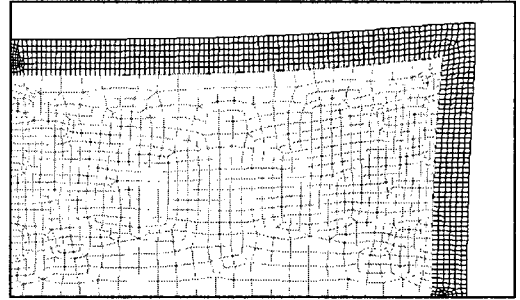


Fig. 3(a) Change in geometry of can (Fig.2(a)).

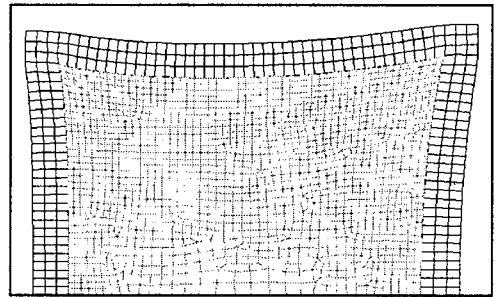


Fig. 3(b) Change in geometry of can (Fig.2(b)).

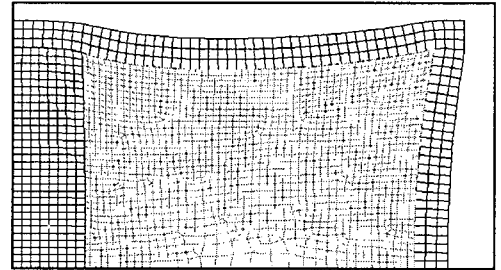


Fig. 3(c) Change in geometry of can (Fig.2(c)).

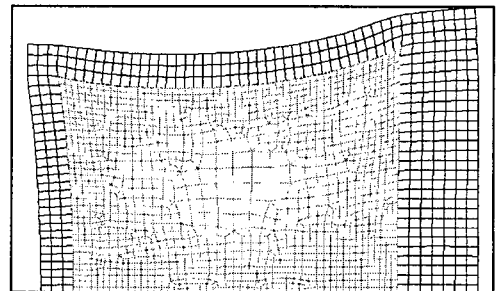


Fig. 3(d) Change in geometry of can (Fig.2(d)).

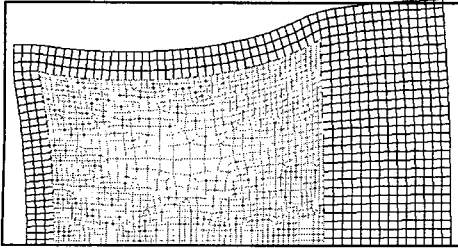


Fig. 3(e) Change in geometry of can (Fig.2(d)).

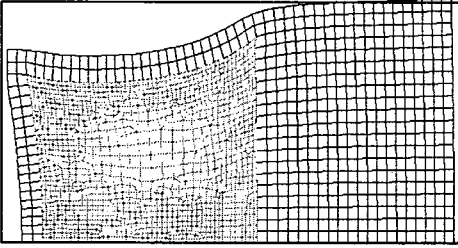


Fig. 3(f) Change in geometry of can (Fig.2(d)).

Table 2. HIP 성형후 CAN 의 수축률

CASE 수축률(%)	1	2	3	4-1	4-2	4-3
가로	11.58	14.17	14.76	14.90	13.91	13.82
세로	16.81	13.61	16.85	20.49	24.00	26.82

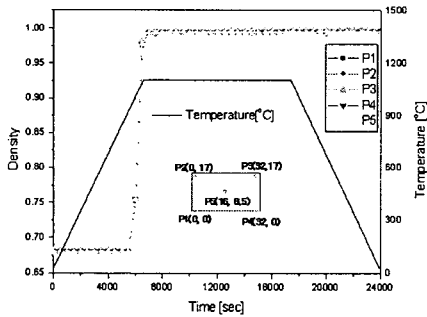


Fig. 4 Change in powder density by HIP'ing

### 3.2 캔 소재에 따른 shape 비교

Case4-3의 경우에서 캔의 가로 수축율이 가장 우수하였지만 정밀도를 더욱 향상시키기 위해 캔의 외벽 소재를 바꾸어 캔의 소재에 따른 shape의 형태를 비교하였는데 그 결과는 Fig. 5와 같다. 고온에서 강도가 큰 Udimet720을 캔의 소재로 사용한 경우가 mild steel을 사용한 경우보다 외벽의 변형이 거의 일어나지 않았음을 확인할 수 있다.

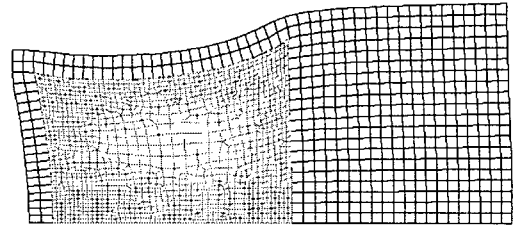


Fig. 5(a) Deformed shape of Mild steel Can

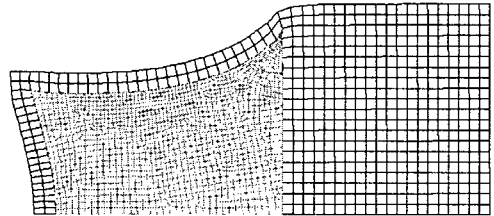


Fig. 5(b) Deformed shape of Udimet720 Can

## 4. 결론

본 연구를 통하여 다음에 따르는 몇 가지 결론을 얻게 되었다.

- (1) HIP/DB 시뮬레이션은 압력의 영향이 가장 크며 shape에 따른 영향은 그 정도가 미미하다.
- (2) 캔의 외벽이 두꺼울수록 캔의 가로 수축율은 향상되었다.
- (3) 고온강도가 큰 재료를 캔의 외벽에 사용하고 나머지 부분은 Mild steel을 사용하였을 때 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

## 참고 문헌

- (1) Eisen, W., 1996, "PM Superalloys: past, present, and future", Materials World, pp.22~24
- (2) Kang, C. Y. et al, 1994, "A study on TLP diffusion bonding of directionally solidified Ni base superalloy", J. Kor. Inst. Met. Mater., Vol.32, pp.1346~1355
- (3) 나영상, 황형철, 2003, "엔진 블리스크 제조를 위한 초내열합금 이종재의 HIP Diffusion Bonding," 한국소성가공학회지, 제 12 권, 제 1 호, pp. 60~65.