

핫프레스포밍용 주조, 단조 금형에 대한 시간과 압력에 따른 대류열전달계수의 예측

김낙현¹ · 강충길[#]

The Prediction of Interfacial Heat Transfer Coefficient According to Contact Time and Pressure in Forging and Casting Die Materials for the Hot Press Forming

N. H. Kim, C. G. Kang

(Received September 14, 2010 / Revised September 29, 2010 / Accepted October 1, 2010)

Abstract

Nowadays there has been great interest in using heat treated cast material for press dies due to several advantages like reduction in die production costs. However, in hot press forming processes H13 forged tool steel is mostly used. Cooling performance of dies in hot press forming processes is considered as an important factor of study and also the IHTC parameter between cast material die and sheet metal should be considered as an essential. In the present study, the IHTC was calculated for the sheet metal in the hot press forming process with cast and forged material dies. The temperature measurements were performed for the sheet metal, casting and forged material dies by applying various contact pressure in hot press forming. IHTC was calculated and studied by adopting the inverse heat convection method in DEFORM-2D. Each IHTC was considered as a function of contact time and contact pressure. The experimental data were compared with calculated data obtained from the proposed equation and references.

Key Words : Forged Material, Cast Material, Hot Press Forming, Interfacial Heat Transfer Coefficient, Inverse Heat Convection Method

1. 서론

최근의 유가 상승 및 환경규제 강화 등의 사회적 요구와 관련하여 자동차 경량화와 안정성 향상에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이를 충족시키는 자동차부품을 제조하기 위하여 핫프레스포밍(Hot Press Forming) 공법이 대두되고 있다.

핫프레스포밍 공법은 급속냉각을 통하여 마르텐사이트 조직을 얻음으로써 강판의 강도를 향상

시키며, 고온에서의 양호한 성형성과 스프링백량이 적은 특성이 있다. 이러한 공법은 1990년대부터 Bumper와 Door Impact Beam 등의 자동차 부품으로 개발을 하여 적용되기 시작하였으며, 현재 그 적용 영역을 보다 넓혀나가고 있는 상태이다.

현재 프레스금형의 소재로는 주조공정에 의하여 제조된 금형이 주로 사용되고 있다. 일부 특수한 산업에 다른 공법을 적용하고 있다. 자동차 부품을 생산하는 금형의 경우 크기 면에서도 다른

1. 부산대학교 정밀가공시스템 대학원
교신저자 : 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공
연구소(ERC/NSDM), E-mail: cgkang@pusan.ac.kr

일반적인 제품을 생산하는 금형보다 대형이기 때문에 금형 재료비가 차지하는 비중이 높은 편이다. 주조금형의 장점으로는 복잡한 형상의 금형을 양산 할 수 있으며, 금형 제작 공수의 단축이 가능하며, 사용목적에 따라서 적합한 재료로 선정할 수 있다. 또한 정밀주조금형과 기계가공금형의 열간 파열의 비교를 위해 동일한 조건에서는 주조금형이 히트체크도 적고 형의 수명연장이 가능하다고 보고되고 있다[1]. 이러한 철계 주조금형에서는 열처리를 함으로써 인장강도 및 경도는 일반 단조재에서 가공된 금형의 특성과 거의 동등한 품질에 달하지만, 신장율 및 충격치에서의 특성은 주조재이기 때문에 약간 저하된 값을 나타내는 경향이 있다고 한다. 이러한 원인은 주조 조직에 있어서 탄화물이 열처리로 균일하게 고용되어 있지 않기 때문이다. 해결방법은 퀸칭-템퍼링의 앞 단계에서 고용화를 돕는 열처리공정을 수행함으로써 인성을 가진 금형을 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 금형의 제조단가를 낮추며 동일한 성능을 갖추기 위하여 성능을 개선한다면 단조금형보다 적합한 형상을 제조하고 가공하는 비용을 절감하는 효과를 거둘 수 있다[1]. 이전의 연구는 다이캐스팅용 및 주조용 등의 금형에 적용되었으며, H13종에 대하여 주조재금형으로 제조하여 열처리한 핫프레스포밍용 금형에 대한 연구는 발표되지 않고 있다.

핫프레스포밍은 유럽 자동차 제조사와 강판 제조사에 의해 개발되었으며, 현재에도 활발한 연구가 진행되고 있다. Barcellona[2] 등은 핫포밍 전용 소재인 보론 첨가강(22MnB5)에 대해 CCT곡선을 도출하는 과정에서 핫프레스포밍 공정의 낮은 온도에서 전변형이 온도에 매우 민감함을 연구하였으며, Nshama[3] 등과 Kim[4] 등은 금속의 소성 변형 중에는 항상 발열이 동반되고 윤활조건과 변형 중 재료거동과 제품의 품질에 영향을 미치기 때문에 적절한 경계조건은 열간 성형 공정의 열-기계적 모델의 정확한 해석 시 중요한 변수임을 언급하였다. 또한, 고온소재와 금형의 경계 면에서는 열전달계수가 중요한 변수임을 말하였다. 그리고 Suh[5] 등은 상변태와 열전달에 의한 블랭크의 체적변화가 잔류응력예측에 영향을 미칠 수 있으며 핫프레스 포밍에 적용 시 중요함을 언급하였다. 또한, Steinbeiss[6] 등은 여러 변수 중에서 열 유동에 있어서 금형과 소재간의 열전달은 매우 중요함을 언급하였으며, Malinowski[7] 등은 정

확한 열-기계적 모델의 해석에는 고온의 소재와 저온의 금형 사이에 정확한 열전달계수(heat transfer coefficient)가 필요함을 제시하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 Nshama[3] 등은 빌렛형상을 이용하여 금형과 소재 사이의 IHTC (Interfacial Heat Transfer Coefficient) 값을 도출하였으며, Kim[8] 등은 이러한 방법을 알루미늄 소재에 동일한 방법을 적용하였다. 이러한 열전달계수 값을 찾는 방법으로 빌렛형상 금형과 소재의 표면이나 내부의 온도를 측정하였으며[9~11], 원통형상하 금형의 온도조건을 다르게 하고, 빌렛 및 링형상의 소재를 사용하였다[13~15]. 또한 Ham[16] 등은 역열전도기법을 정의하고 이를 이용하여 열전달계수를 예측하는 연구를 하였다.

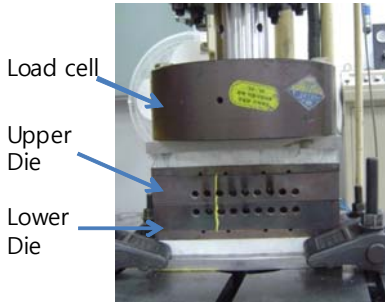
이러한 열전달계수 값들을 핫프레스 포밍에 적용한 연구로는 Kim[17] 등이 금형과 소재 간격에 따른 열전달계수 값을 도출하였으며, Bosetti[18] 등, Geiger[19] 등은 40MPa이하의 접촉압력에 따른 열전달계수값을 찾아내었다. 또한 Steinbeiss[6] 등은 냉각 흘, 소재, 주변조건에 열전달계수 값을 적용하여 해석하였다. Suh[5] 등은 고온물성 값과 상변태 및 열전달을 고려하여 DeformTM-HT로 해석하였다.

그러나 기존의 연구들은 핫프레스 포밍 공정에 접촉시간과 압력을 동시에 고려한 계면 열전달계수 값에 관한 연구가 없었기에 본 연구는 역추적 기법에 Deform 2D S/W를 사용 소재와 금형 간의 접촉시간과 접촉압력에 따른 계면 열전달계수를 구하였다. 이를 바탕으로 계면 열전달계수 값을 시간과 압력에 따른 수식을 제시하였으며, 실험을 통한 온도값과 해석으로 도출한 온도 값을 비교, 검토하였다.

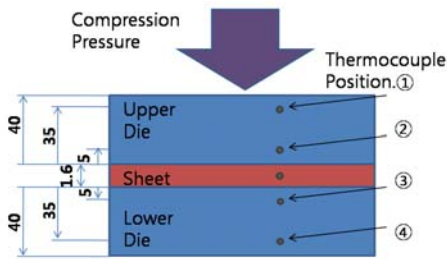
2. 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1(a)는 본 연구에 사용된 복동식 유압 프레스 장비이다. 이 장비는 용량 200ton의 유압실린더와 성형하중을 측정하기 위한 로드셀로 구성되어 있다. 프레스 압축실험 시 장치에 부착된 로드셀을 통해 압축하중을 측정하였다. 또한 금형과 소재의 온도변화를 측정하기 위해 데이터로거(Data logger)를 설치하여 측정하였다. 소재를 가열하기 위해 사용한 10~12kW출력을 가진 전기로는 최고온도 1100℃까지 가열 가능하다.



(a) Experiment equipment for measuring interfacial heat transfer coefficient



(b) Position of the thermocouples

Fig. 1 (a) photograph and (b) Diagram of experiment equipment

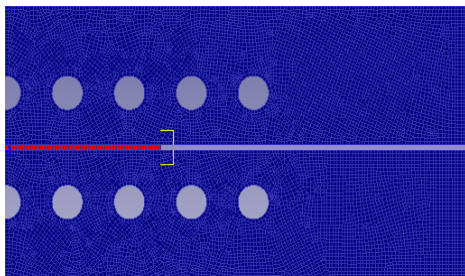


Fig. 2 FE-analysis model for measuring interfacial heat transfer coefficient

본 실험을 수행하기 위해 Fig. 1 (a)와 같이 장치를 구성하였고, Fig. 1 (b)의 위치에 열전대를 부착하여 온도를 측정하였다. 소재가 접하는 부분의 금형 소재는 H13(STD61)중 단조제품과 주조제품을 동일하게 제조하여 실험하였다. Fig. 2는 역추적기법에 의하여 압하력의 변화와 시간에 따른 계면 열전달 계수를 측정하기 위한 유한요소해석 모델이다. 블랭크의 요소수는 100개, 상형과 하형의 요소수는 각각 6,000개 이상으로 설정하였으며 Deform-2D S/W 를 사용하여 열전달 해석을 수행하였다.

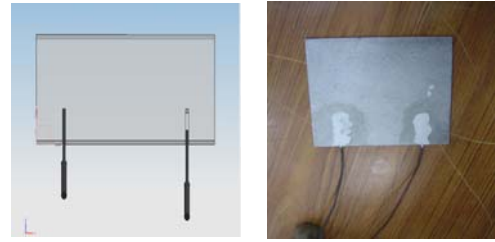


Fig. 3 schematic diagram and photo of specimen

Table 1 Chemical composition of boron steel sheet

Material	Chemical composition (mass %)				
	C	Si	Mn	Cr	B
BCJ239	0.2123	0.0806	1.484	0.4063	0.0016

Table 2 Chemical composition of STD61

	Chemical composition (wt %)			
	C	Si	Mn	P
Forged Mat.	0.32	0.8	0.5 이하	<0.03
Cast Mat.	~0.42	~1.2	~0.50	~0.42
	S	Cr	Mo	V
Forged Mat.	<0.01	4.50	1.0	0.3
Cast Mat.	0.020	~5.50	~1.5	~0.5
	MAX	~5.50	~1.50	~1.15

2.2 실험 조건 및 방법

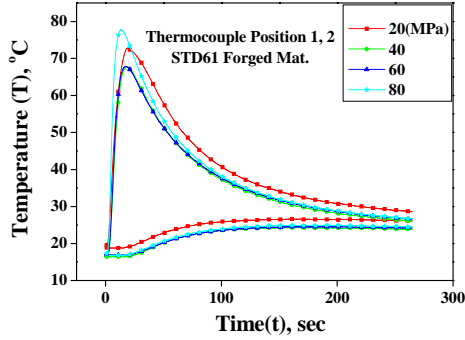
Fig. 3에서 보이는 것처럼 시험편은 두께 1.6mm 의 22MnB5의 보론강판으로부터 가로×세로=100×100mm의 블랭크를 제작하였고, Ø1.6mm 의 열전대를 시험편 중심부에 위치할 수 있게 가공하여 2개의 K-Type 열전대를 부착하였다.

또한 실험 시험편의 합금 성분은 Table 1과 같다. Table 2는 H13중 주조 및 단조제품금형의 화학조성을 나타내었다.

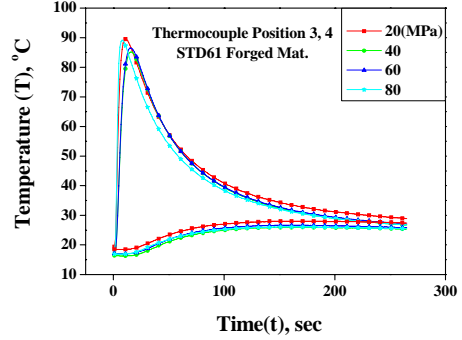
제작된 시험편을 900℃ 전기로에 6분간 가열한 후 7초 이내에 금형에 위치시키고 일정한 압력으로 가압, 유지하였다. 이때 가압력은 20, 40, 60, 80MPa 로 단조재금형과 주조재금형에 동일 하게 적용하여 실험하였다.

3. 실험결과

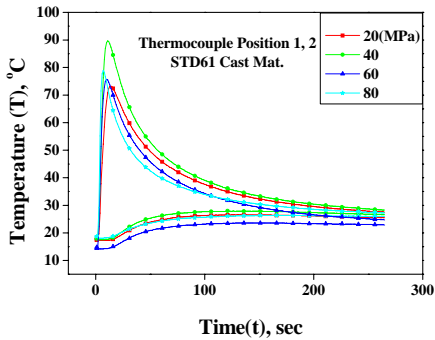
Fig. 4 (a)는 시험편을 900℃에서 6분간 가열한



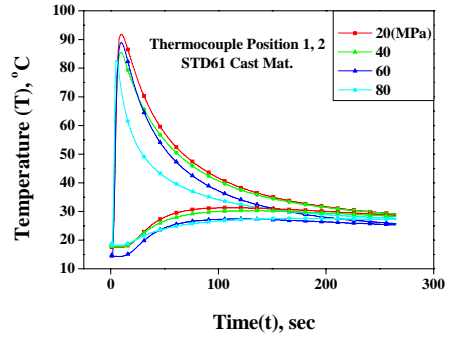
(a) forged material



(a) forged material



(b) cast material



(b) cast material

Fig. 4 Temperature histories according to various normal pressures at positions 1 and 2

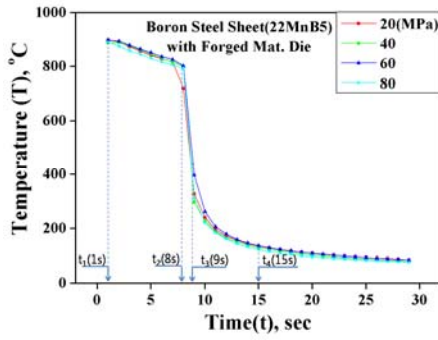
Fig. 5 Temperature histories according to various normal pressures at positions 3 and 4

후 7초 이내에 단조재금형에 안착하여 각각 일정한 압력(20, 40, 60, 80MPa)을 가했을 때, 상부금형의 열전대 위치는 Fig. 1 (b) ①, ②에 나타난 온도 데이터다. 소재와 가까이 위치한 열전대 위치 ②는 급격히 온도가 증가하는 반면, Fig. 1에서 표시한 열전대 위치 ①은 온도의 증가와 감소가 완만해짐을 알 수 있었다. Fig. 4 (b)는 주조재금형 상부의 열전대 위치 ①, ②의 온도분포를 나타내었다. 단조재금형 보다 동일한 압력에서 소재와 접촉 직후부터 가압되는 시간 전까지 최고 온도점은 전체적으로 더 높음을 확인 할 수 있었다. 그 이유는 일반적인 금속내부의 전도전자(자유전자)에 의한 열전달이 가장 영향이 크다[20]. 이러한 전도전자가 열을 받아 움직이는데 금속내부의 원자들과의 충돌에 의해 그 움직임이 제한되고 따라서 그 속도가 원자들이 없을 때보다 훨씬 줄어들게 된다. 따라서 주조재금형의 경우 단조재금형보다 전도전자의 속도가 빨라지고 소재가 접촉한 후 금형내부의 열전달이 빨라지게 되므로 최고점의 온

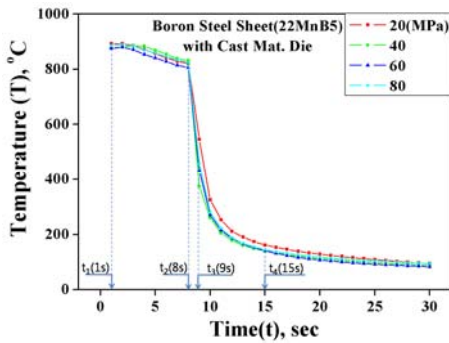
도가 높아진 것으로 사료된다. 또한 주조재금형은 압력에 의한 온도의 영향을 많이 받는 것을 확인하였다.

Fig. 5는 Fig. 1 (b)에서 보여주는 하부금형의 열전대 위치 ③, ④에서의 온도 분포를 나타내었다. 하부금형의 온도가 상부금형보다 높은 것은 시험편이 하부금형에 안착한후에 상부금형이 접촉하기 때문이다. 또한 가압력이 증가함에 따라 금형의 온도하강이 커짐을 알 수 있다. 접촉 후 250초 때에는 금형의 상,하부 온도가 30°C 내외로 수렴함을 확인할 수 있었다. 이는 별도의 냉각을 하지 않은 상태의 조건이었다. 주조재금형이 단조재금형보다 초기 상승온도는 높았다. 그러나 250초 후에 30°C 내외로 동일한 온도로 하강하였다. 금형의 빠른 냉각속도는 연속적인 작업시 금형의 냉각효과가 우수하였다.

Fig. 6는 압력에 따른 시험편의 시간 별 온도 분포를 나타내는 것으로 초기 7초는 전기로에서 나와 금형에 안착하기 전까지 이동하는 7초를 나타



(a) forged material



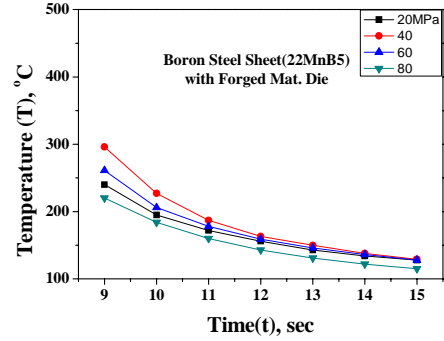
(b) cast material

Fig. 6 Temperature distribution according to the normal pressure at boron steel sheet

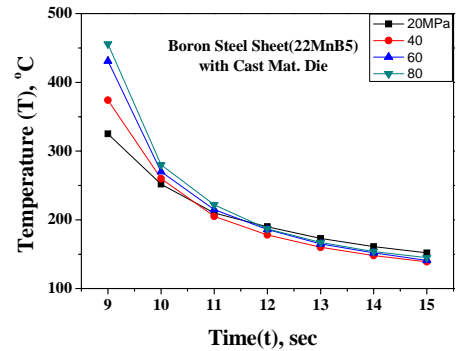
내고 있다. 시험편이 금형에 설치 직후 8초 때 가압을 시작하였고, 9초부터 일정하게 가압을 시작하였다. 그로부터 6초 후인 15초까지 역추적기법에 의하여 각 압력별로 시간에 따른 계면 열전달 계수를 Deform-2D 해석을 통하여 구하였다.

시험편의 온도 데이터를 보면 초기 전기로에서 나와 공기 중에서 이동하는 과정에서 소재의 냉각속도는 평균 15°C/sec 였으며, 금형에 안착할 당시 시험편의 온도는 800°C 전후였다. 시험편이 금형에 안착하고 가압 후 1초 지났을 때, 시험편의 온도는 압력에 따라 차이를 보였으며 금형의 소재에 따라 100°C 이상 차이가 남을 확인할 수 있었다. 단조재금형 보다는 주조재금형에서 시험편의 초기 온도 강하가 적음을 확인할 수 있었다.

이는 시험편이 각각의 금형에 위치하였을 때 프레스의 압력이 균일화 되는 1초 동안에 소재와 금형 사이에 접촉상태와 프레스의 압력이 영향을 미친 것으로 사료된다. 특히 주조재금형과 소재가



(a) Forged material



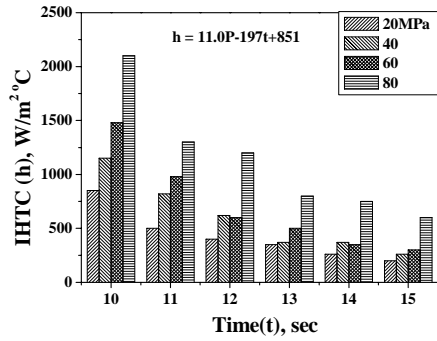
(b) Cast material

Fig. 7 Calculated temperature histories according to various normal pressures

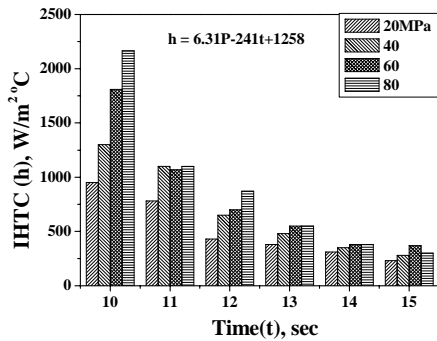
접촉하였을 때 소재의 온도강하가 적은 것은 주조재금형과 소재간의 열전달이 원활하지 못하였기 때문이라 사료된다. 이러한 점은 핫프레스 포밍에서 소재와 금형접촉시에 급격한 온도저하로 인하여 성형공정에서 소재의 파손이 일어나는 문제점을 해결하는데 도움이 되리라 사료된다. 균일한 가압 하에서 일정시간이 지남에 따라 소재의 온도는 수렴 하였고 15초 때 소재의 온도차이는 10°C 내외였다.

Fig. 7은 역추적 기법에 Deform-2D S/W를 사용하여 각 압력별로 계면 열전달 계수 값을 구하여 도출한 시험편의 시간에 따른 온도분포를 기록하였다. 해석상에서도 단조재금형이 주조재금형보다 시간대별 온도강하가 작음을 확인할 수 있었다.

Fig. 8는 9초부터 15초까지 각 초당 압하력에 따른 계면 열전달 계수 값을 그래프로 나타내었다. 20MPa에서 단조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수는 9초에서 10초 때 850W/m²°C였으며 11초부터 15초 때까지 500, 400, 350, 260, 200W/m²°C를 나



(a) forged material

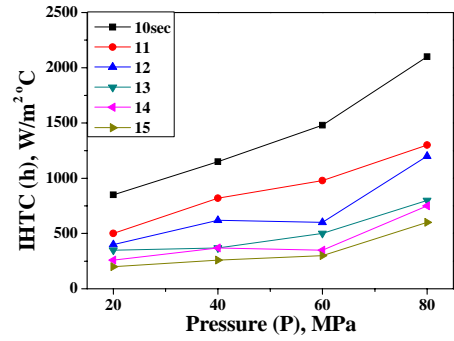


(b) cast material

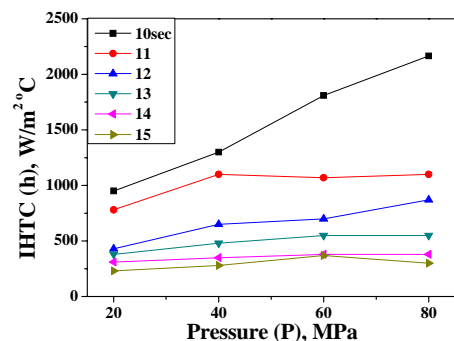
$$h = W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C} , P = \text{MPa} , t = \text{sec}$$

Fig. 8 The interfacial heat transfer coefficient versus the time of contact for various normal pressures

타낸 반면 주조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수는 9초에서 15초까지 950, 780, 430, 380, 310, 230W/m²°C으로 계산 되었다. 시간이 지남에 따라 그 차이는 줄었지만 최대 100W/m²°C까지 차이가 남을 확인할 수 있었다. 40MPa에서는 단조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은 1150, 820, 620, 370, 370, 260W/m²°C 이고 주조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은 1300, 1100, 650, 480, 350, 280W/m²°C 였다. 여기서도 최고 150 W/m²°C 차이가 났다. 60MPa에서는 단조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은 1480, 980, 600, 500, 350, 300W/m²°C 이고 주조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은 1810, 1070, 700, 550, 380, 370 W/m²°C 로 최대 330 W/m²°C 차이가 났다. 또한 80MPa에서 단조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은 2100, 1300, 1200, 800, 750, 600 W/m²°C이고 주조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은



(a) forged material

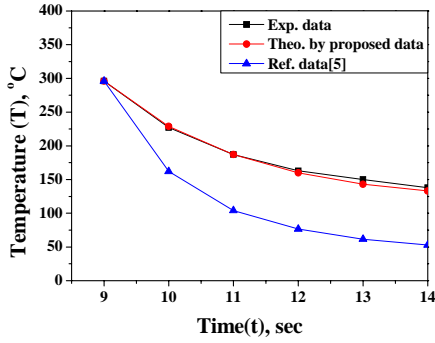


(b) cast material

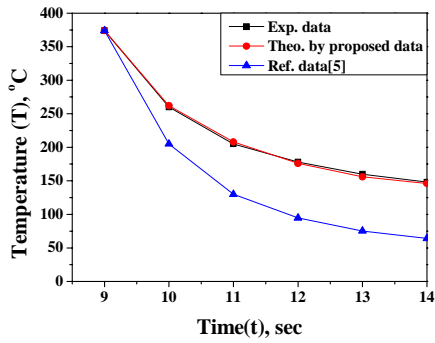
Fig. 9 The interfacial heat transfer coefficient versus the normal pressure according to the time

2165, 1100, 870, 550, 380, 300 W/m²°C 였다. Geiger 등이 제시한 계면 열전달 계수[19]에서 압력에 의하여 계면 열전달 계수는 10MPa에서 2000W/m²°C, 20MPa에서 2400W/m²°C, 30MPa에서 3000W/m²°C, 40MPa에서 3400W/m²°C 였다.

또한 Bosetti 등이 제시한 계면 열전달 계수[18]에서는 압력에 따른 계면 열전달 계수는 10MPa에서 2025W/m²°C, 20MPa에서 2395W/m²°C, 30MPa에서 3065W/m²°C, 40MPa에서 3308W/m²°C 이었다. Fig. 8에서 보여주는 바와 같이 압하력이 높을수록 열전달이 잘 일어나고 또한 계면 열전달 계수도 증가함을 확인할 수 있었다. 15초 때에 계면 열전달 계수가 200~300 W/m²°C로 일정한 값을 향해 수렴하였다. 또한 20~60MPa의 압하력에서는 주조재금형이 단조재금형보다 계면 열전달 계수값이 높았으며, 80MPa에서는 비슷한 양상을 보였다. 또한 시간이 지남에 따라서 주조재금형과 단조재금형사이의 계면 열전달 계수 값의 차이가 줄고 일정한 값으로 수렴해가는 양상을 확인하였



(a) forged material



(b) cast material

Fig.10 Comparison of temperature histories obtained from experiments, proposed equations and reference data [5] at 40MPa

다. 단조재금형과 주조재금형 이 시험편과 접촉될 때의 계면 열전달 계수값을 시간과 압력에 따른 함수로 표현하였다. 단조재금형과 시험편 사이의 계면 열전달 계수 값과 주조재금형과 시험편 사이의 계면 열전달 계수 값을 Fig. 8로부터 다음과 같이 각각 표기 할 수 있다.

$$IHTCF = 11.0P - 197t + 851 \quad (1)$$

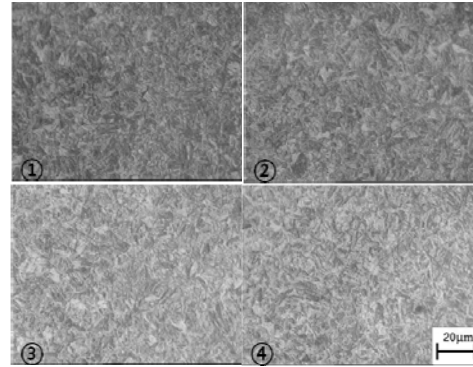
$$IHTCC = 6.31P - 241t + 1258 \quad (2)$$

IHTC = 계면 열전달 계수(W/m² °C)

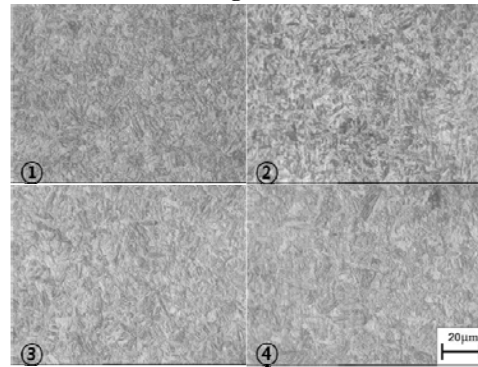
P = 접촉압력(MPa)

t = 접촉시간(sec)

Fig. 9은 Deform-2D S/W를 사용하여 각 압력별 1초 단위로 계면 열전달 계수 값을 수치화 하여서 표시하였다. 초기의 1초 때 계면 열전달 계수 값이 가장 컸으며, 시간이 지남에 따라서 점차적으로 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이는 단조재금



(a) Forged material



(b) Casting material

Fig.11 The microstructures of compressed boron steel sheet (① = 20MPa, ② = 40MPa, ③ = 60MPa, ④ = 80MPa)

형과 주조재금형 모두 공통적으로 보이는 현상이었다. 또한 주조재금형과 시험편의 계면 열전달 계수값은 시간이 지남에 따라서 단조재금형보다 동일시간에 상대적으로 압하력에 영향을 적게 받는 것으로 확인되었다.

Fig. 10는 압하력 40MPa 일 때, 단조재금형과 주조재금형에서 시험편 온도를 각각 실험값과 제안한 수식을 Deform-2D에 적용하여 해석한 값과 참고문헌[19]의 값을 Deform-2D에 적용하여 해석한 값을 나타내었다. 본 연구에서 구한 시간과 압력에 따른 계면 열전달 계수를 적용하였을 때, 참고문헌의 압력에 따른 계면 열전달 계수를 이용하여 구한 시험편의 온도데이터보다 일치도가 높았다.

금형제조방법에 따른 계면 열전달 계수가 핫프레스포밍공정에 적합한지를 판단하기 위하여 다

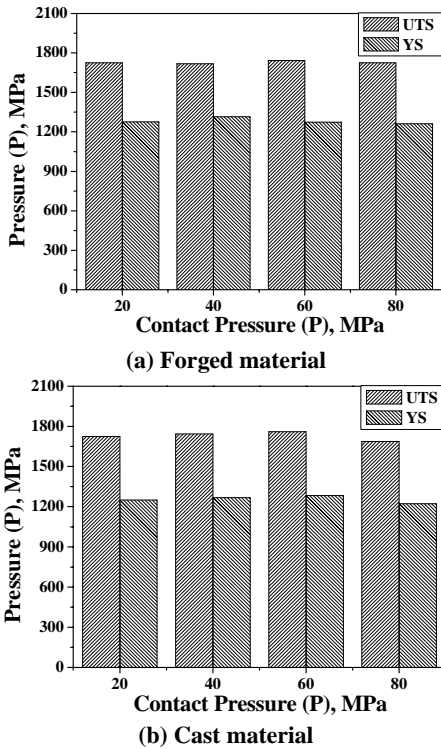


Fig. 12 Mechanical properties of boron steel sheet

Table 3 Hardness of specimen

Pressure	20 MPa	40	60	80
Forged Mat.	534 (HV)	527	520	528
Cast Mat.	550 (HV)	530	516	521

음과 같은 실험을 하였다.

Fig. 11은 각 압하력에 따라 단조 및 주조재금형으로 실험한 시험편의 조직사진을 나타내었고 조직이 모두 마르텐사이트화 되었음을 확인할 수 있었다.

Fig. 12 에 실험 후 시험편의 인장시험결과를 나타내었다. 핫프레스 포밍공정에 적용되었던 제품의 일반적인 소재의 최대인장강도가 1500MPa임을 감안하면 현 소재의 최대인장강도는 모두 그 수치를 상회하므로 본 실험이 핫프레스포밍공정에 적용된 것임을 확인하였다.

또한 Table 3에 시험편의 실험 후 각 부위별 경도를 측정하여 이를 뒷받침하였다.

본 논문에서 연구된 시간과 압력에 따른 계면 열전달 계수 값을 적용하였을 때, 압하력에 따른

계면 열전달 계수 값보다 유한요소해석 시에 해석 정밀도를 높일 수 있다. 또한 추후에 금형의 제조단가를 낮추기 위한 방안으로 주조재금형에서 유한요소해석 시에 필요한 보론강의 계면 열전달 계수 값을 확보함으로써 핫프레스포밍공정의 금형의 경쟁력을 높일 수 있을 것 기대된다.

4.결론 및 고찰

주조재 금형과 단조재 금형을 이용한 압축 실험을 수행한 후 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 시험편에 가해지는 수직압력이 증가할수록 열전달이 잘 일어나는 것을 확인할 수 있었고 또한 계면 열전달 계수 값도 증가함을 알 수 있었다.

(2) 20~60MPa 압력조건에서 주조재금형이 단조재금형보다 높은 계면 열전달 계수 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 또한 주조재 금형이 가압력이 20~60MPa의 범위에서는 단조재금형 보다 압력에 의한 온도의 영향을 많이 받는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 주조재금형 내부의 열전달이 단조재금형에 비해 빠르게 전달됨에 따라 높은 열전달 계수 값을 보이는 것으로 사료된다. 80MPa 에서 계면 열전달 계수 값은 큰 차이가 없었다.

(3) 금형과 소재의 접촉시 소재의 초기온도가 주조재금형에서 높음을 확인할 수 있었다. 또한 동일한 시간에 있어서 주조재 금형이 단조재 금형보다 빠른 열전달이 일어남을 확인하였다.

(4) 단조재금형과 시험편 사이의 계면 열전달 계수 값은 $IHTCF = 11.0P - 197t + 851$ 로 주조재금형과 시험편 사이의 계면 열전달 계수 값은 $IHTCC = 6.31P - 241t + 1258$ 로 시간과 압력에 관한 함수로 나타내었다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 결과임.

참 고 문 헌

[1] Korea die & mold industry cooperative, Korean tools industry cooperative, 1986, Mold manufacturing using by casting process, Die Mold

- & Tool, Vol. 14, pp. 134~145.
- [2] A. Barcellona, D. Palmeri, 2009, Effect of Plastic Hot Deformation on the Hardness and Continuous Cooling Transformations of 22MnB5 Microalloyed Boron Steel, Metall. Mater. Trans. A, Vol. 40, No. 5 pp. 1160~1174.
- [3] W. Nshama, J. Jeswiet, 1995, Evaluation of temperature and heat transfer conditions at the metal forming interface, CIRP Annals - Manuf. Technol., Vol. 44, No. 1, pp. 201~204.
- [4] H. S. Kim, M. H. Seo, S. J. Kim, S. C. Baik, W. J. Bang, H. R. Lee, 2001, Finite element analysis and experimental investigation on the thermal deformation behavior of steel sheets during press hardnessing, J. Kor. Inst. Met. & Mater. Vol. 39 No. 9 pp. 1076~1083.
- [5] Y. S. Suh, M. W. Ji, K. H. Lee, Y. S. Kim, 2010, Application and Verification of Virtual Manufacturing to Hot Press Forming Process with Boron Steel, Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 2, pp. 61~66.
- [6] H. Steinbeiss, H. So, T. Michelitsch, H. Hoffmann, 2007, Method for optimizing the cooling design of hot stamping tools, Prod. Eng., Vol. 1, No. 2, pp. 149~155.
- [7] Z. Malinowski, T.G. Lenard, M.E. Davies, 1994, A study of the heat-transfer coefficient as a function of temperature and pressure, J. Mater. Process. Technol., Vol. 41, pp. 125~142.
- [8] D. H. Kim, B. M. Kim, C. G. Kang, 2004, Die Life Estimation of Hot Forging for Surface Treatment and Lubricants, Int. J. of Precision Eng. and Manuf., Vol. 5, No. 4, pp. 5~72.
- [9] M.A. Kellow, A.N. Bramley, F.K. Bannister, 1969, The Measurement of Temperatures in Forging Dies, Int. J. of Machine Design and Research, Vol.9, pp. 239~260.
- [10] P. Dadras, W.R. Wells, 1984, Heat Transfer Aspects of Nonisothermal Axisymmetric Upset Forging, J. Eng. for Industry, Vol. 106, pp. 187~195.
- [11] C. R. Boër, H. Rydstad, G. Schröder, 1985, Choosing Optimal Forging Conditions In Isothermal and Hot-Die-Forging, J. of Applied Metalworking, Vol. 3 No. 4, pp. 421~431.
- [12] C. R. Boër, G. Schröder, 1991, Temperature in the Die-Billet Zone in Forging, Annals of the CIRP, Vol. 30 No. 1, pp. 153~157.
- [13] O. Pawelski, W. Rasp, C. Hoerster, 1989, Ring compression test as simulation test for the investigation of friction in hot metal forming, Steel Research Vol. 60, No.9, pp. 395~402.
- [14] S. L. Semiatin, E. W. Collings, V. E. Wood, T. Altan, 1987, Determination of the Interface Heat Transfer Coefficient for Non-Isothermal Bulk-Forming Processes, J. Eng. for Industry Vol. 109, pp. 49~57.
- [15] P. R. Burte, Y. Im, T. Altan, S. L. Semiatin, 1990, Measurement and Analysis of Heat Transfer and Friction During Hot Forging, Transactions of the ASME Vol. 112, pp. 332~339.
- [16] J. K. Ham, H. H. Cho, 1997, Prediction of Heat Transfer Coefficient using Inverse Heat Conduction Method, proceedings of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, pp. 300~305.
- [17] H. G. Kim, H. S. Son, S. H. Park, 2006, Development of thermal-mechanical coupled simulation skills for hot press forming tool design, POSCO technical report, Vol. 10, No. 1, pp. 115~123.
- [18] P. Bosetti, S. Bruschi, T. Stoehr, J. Lechler, M. Merklein, 2010, Interlaboratory comparison for heat transfer coefficient identification in hot stamping of high strength steels, Int. J. Mater. Forming, Vol. 3, No. 1, pp. 817~820.
- [19] M. Geiger, M. Merklein, J. Lechler, 2008, Determination of tribological conditions within hot stamping, Production Eng., Vol. 2, No. 3, pp. 269~276.
- [20] A. F. Mills, 1995, basic heat and mass transfer, Irwin. Inc., USA.