

윤활제와 표면처리에 따른 온간단조 금형의 열적특성 평가

김종호*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김동진(부산대 대학원 기계설계공학과),
정덕진(부산대 대학원 기계설계공학과), 김병민(부산대 정밀정형 및 금형가공연구소)

Evaluation of Thermal Characteristics for Warm Forging Die due to Lubricants and Surface Treatments

J. H. Kim (Dept. Precision Mech. Eng., PNU), D. J. Kim (Dept. Mech. Design Eng., PNU),
D. J. Jeong (Dept. Mech. Design Eng. PNU), B. M. Kim (ERC for NSDM, PNU)

ABSTRACT

The mechanical and thermal load, and thermal softening which is happened by the high temperature of die, in hot and warm forging, cause wear, heat checking and plastic deformation, etc. This study is for the effects of solid lubricants and surface treatments for warm forging die. Because cooling effect and low friction are essential to the long life of dies, optimal surface treatments and lubricants are very important to hot and warm forging process. The heat that is generated by repeated forging processes, and its transfer are important factors to affect die life. The main factors, which affect die hardness and heat transfer, are surface treatments and lubricants, which are related to thermal diffusion coefficient and heat transfer coefficient, etc. For verifying these, experiments are performed for diffusion coefficient and heat transfer coefficient in various conditions - different initial billet temperatures and different loads. Carbonitriding and ionitriding are used as surface treatments, and oil-base and water-base graphite lubricants are used. The effects of lubricant and surface treatment for warm forging die life are explained by their thermal characteristics.

Key Words : Warm forging (온간단조), Carbonitriding (침탄질화), Ionitriding (이온질화), Graphite lubricant (그래파이트 윤활제), Thermal diffusion coefficient (열확산계수), Heat transfer coefficient (계면열전달계수)

1. 서론

열간·온간단조에서는 큰 하중, 심한 마멸, 반복되는 열피로 등에 의해 상대적으로 냉간단조보다 짧은 금형 수명을 가진다. 이런 단점을 개선하기 위한 연구는 계속되어지고 있다. 일반적으로 열간·온간 금형의 수명을 단축시키는 주된 원인으로는 마멸(wear), 히트체킹(heat checking), 소성변형(plastic deformation) 등이 있다.^[1] 이들 발생은 주로 금형과 소재의 마찰과 그로 인한 열에 의해서 발생되어지게 된다. 기존의 연구들은 주로 마멸과 히트체킹에 관한 것이 주를 이루었고^[2] 소성변형에 관한 내용은 상대적으로 부족하다. 열간·온간단조중에 반복되는 공정에 의한 금형에 발생하는 소성변형은 열변화현상에 의해 발생한다. 특히 소성변형은 작은 양이라도 금형에 상당한 영향을 주는 수명인자다. 따라서 본 연구에서는 이러한 소성변형의 원인이

되는 공정중에 발생하는 열전달을 파악하는 것이다. 실제 공정에서 금형과 소재사이의 열전달은 금형 표면처리와 윤활제에 따라 크게 좌우된다. 즉, 적합한 금형의 표면처리와 윤활제의 선택은 금형의 수명에 크게 영향을 미칠 수 있다. 따라서 윤활제와 금형의 표면처리의 종류에 따른 열적특성을 파악하여 금형과 소재사이의 열전달의 차이 정도를 비교하였다.

이를 위해서 세종류의 서로 다른 표면처리된 금형, 즉 일반적인 무처리, 침탄질화, 이온질화처리된 금형으로 각각 온도에 따른 열확산계수를 구하였고 고체 윤활제인 유용성, 수용성의 두 그래파이트를 사용하여 윤활제와 금형 표면처리에 따른 열전달의 양을 비교하는 실험을 수행하였다. 이러한 실험을 통하여 금형표면처리와 윤활제의 열적특성을 파악함으로써 금형에 주는 영향을 이해하고자한다.

2. 금형표면처리에 따른 열확산계수

금형의 표면처리 종류는 여러 가지이지만 본 연구에서는 무처리, 침탄질화처리, 이온질화처리된 소재를 준비하였다. 무처리는 비교를 위해서 제시하였고 실제로 열간·온간 단조에 주로 사용되고 있는 침탄질화처리와 이온질화처리의 열적특성을 비교하는 데 중점을 두었다.

세가지의 표면처리에 따른 열적특성을 비교하기 위해 각각의 금형의 열확산계수를 구하였다. 열확산계수를 구하기 위해서 레이저 플래시법(Laser flash method)을 사용하였고 측정에 사용된 시스템은 SINKU-RICO(TC-7000VH/L)이고 적외선 온도 측정기(Infrared detector)로 진공중에 놓인 시편의 뒷면을 비접촉으로 온도를 측정하였다. 열확산계수 해석은 로그법(Logarithmic method)을 이용하였다. 열확산계수 측정 실험의 결과는 Fig. 1에 나타나 있다.

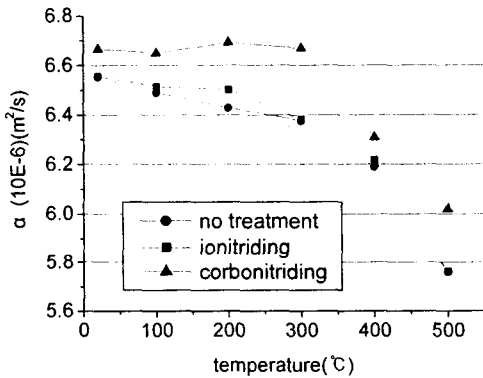


Fig. 1 Thermal diffusion coefficient

Table 1 Specimens for thermal diffusion coefficient

Surface treatment	Material	Dimension (mm)
Carbonitriding Ionitriding	AISI H-13	Φ 10×2

열확산계수 측정의 결과는 실험 온도 전반에 걸쳐 침탄질화, 이온질화, 무처리된 금형의 순으로 크기가 나타났다. 이온질화와 침탄질화는 무처리보다 큰 값을 가졌고 그 중 침탄질화처리된 금형의 열확산계수 값이 제일 크게 나타났다는 점은 실제 공정에서 발생하는 열을 빨리 확산함으로써 열에 의한 영향을 다른 금형 표면처리보다 작게 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 침탄질화처리는 다른 금형 표면처리보다 수명을 길게 할 수 있음을 보여준다.

3. 윤활제 및 금형표면처리에 따른 계면 열전달계수

그라파이트는 열간·온간 단조에 주로 사용되는 고체 윤활제다. 본 연구에서는 유용성과 수용성 그라파이트를 사용하여 그 차이를 비교하였다.

3.1 역추적법(Reverse Algorithm)

금형과 소재의 실제 열전달의 정도를 측정하기 위해서 계면 열전달계수를 구하였다. 소재의 높은 열이 윤활제를 통과하여 금형에 도달하는 양을 측정하여 역추적법^{[3]-[4]}을 이용하여 계면 열전달계수 값을 구하였고 이에 필요한 FE 계산을 위해서는 DEFORM 2D를 사용하였다.

일반적으로 계면 열전달계수는 다음 식에 의해 정의된다.

$$q_h = h(T_w - T_d) \quad (1)$$

q_h 는 단위 면적당 열전달율이고 T_w 와 T_d 는 소재의 온도와 금형의 온도이다.

$$\sum_{time} \sum_{position} (T_c + \frac{dT_c}{dh} \Delta h - T_m) \frac{dT_c}{dh} = 0 \quad (2)$$

T_c 는 임의의 h 값을 사용하여 FE 해석으로 계산된 온도이고 T_m 은 실제 실험으로 구한 온도이다. 두 온도 다 실제 금형의 한 점에서 같은 시간 동안에 측정된 온도이다. 식(2)에서 Δh 에 의해 가정된 h 의 값이 증가하면서 오차의 범위를 계속 좁혀나간다. 따라서 정확한 값은 식(3)에서 유도된다.

$$\Delta h = \frac{\sum_{time} \sum_{position} (T_c - T_m)(dT_c / dh)}{\sum_{time} \sum_{position} (dT_c / dh)^2} \quad (3)$$

$(dT_c - dh)$ 은 식(4)에 의해서 계산되어진다.

$$\frac{dT_c}{dh} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{h_1 - h_2} \quad (4)$$

T_{c1} 과 T_{c2} 는 가정된 열전달계수인 h_1 과 h_2 에 의해서 FE 계산되어진 값들이다.

3.2 실험

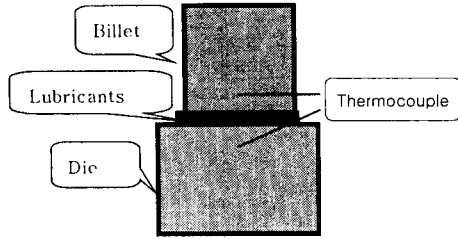


Fig. 2 The outline of experiment for heat transfer coefficient

Table 2 Experimental conditions

Die (cylinder)(mm)	AISI H-13 (H: 30, D: 40)
Billet (cylinder)(mm)	AISI 1035 (H: 35, D: 35)
Lubricants(graphite)	Oil-base, Water-base
Initial die temp.(°C)	300
Initial billet temp.(°C)	350, 450, 650, 850
Die surface treatment	No treatment, Carbonitriding, Ionitriding
Load(kN)	0, 30, 60

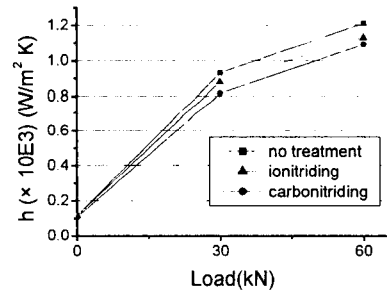
Fig. 2 는 실험 장치의 구조를 간단히 나타내었다. 금형과 소재를 각각 다른 온도로 예열하여 소재에 윤활제를 분사한 후에 표면처리 된 금형에 소재를 올리고 하중을 가하여 실험하였다. 이때 소재와 금형에 서로 대하는 면으로부터 각각 5mm 의 깊이의 중앙부의 온도를 열전대를 이용하여 20 초 간 온도를 측정하였다. 실험에 적용된 조건들은 Table 2 에 나타나 있다.

4. 실험결과 및 고찰

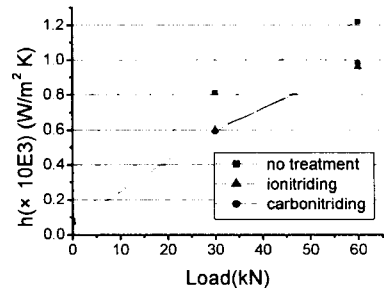
세종류의 표면처리, 두종류의 윤활제, 서로 다른 소재의 초기온도, 세종류 크기의 하중에 따른 실험 결과의 그래프는 Fig. 3~4 에 나타나있다. Fig. 3 에서는 하중이 증가함에 따라서 계면열전달계수가 증가하는 것을 알 수 있고 Fig. 4 에서는 소재의 실험 초기 온도에 따른 유용성과 수용성 윤활제의 계면열전달계수를 비교한 것이다. 여기에서 유용성 그래파이트는 수용성을 사용하였을 때 보다 온간 범위에서는 높은 값이 나타났다. 이는 그래파이트의 온도에 따른 시편에 고착상태와 관련이 있다.

Fig. 4 에서 알 수 있듯이 계면열전달계수가 소재의 초기온도에 따라 차이가 있는 것은 유용성과 수용성 그래파이트의 온도에 따른 고착 정도가 차

이가 있기 때문이다. 한가지 예로 400~550°C 부근에서는 수용성 윤활제를 사용하였을 때의 값이 다른 온도와는 달리 크게 나타났는데 이는 수용성이 용융성보다 시편에 고착이 잘 되었다는 것을 알 수 있다. 실제로 온도에 따른 그래파이트의 시편에 대한 고착 정도를 비교하기 위해서 150~850°C 범위의 온도에서 유용성과 수용성 그래파이트의 시편 표면 고착 상태를 관찰한 결과, 400~550°C 의 온도에서는 유용성 윤활제보다 수용성 그래파이트를 분사한 시편의 표면이 더 고르게 그래파이트가 고착되었다. Fig. 5 는 450°C 에서 유용성과 수용성 그래파이트가 시편에 고착된 사진인데 여기서 알 수 있듯이 유용성 그래파이트는 그래파이트와 기름이 같이 존재하여 그래파이트가 시편표면 전체에 다 고착하지 않았다. 실제로 실험에서 유용성 그래파이트는 약 500°C 부근의 온도까지 기름의 액체 상태가 남아 있었고 그 이상의 온도에서는 기름액체성분이 거의 없어지고 고착표면이 매끄럽게 되었다. 또 이런 고착 상태는 하중에 따라서도 크게 바뀌게 된다.



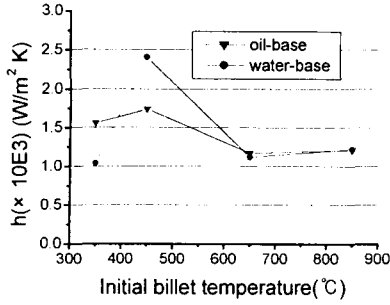
(a)



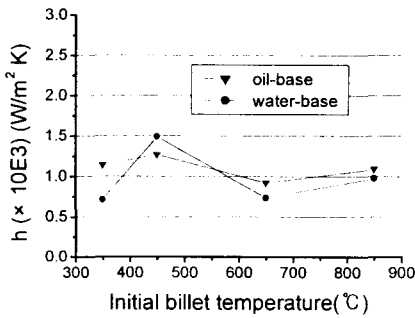
(b)

Fig. 3 Heat transfer coefficient, when initial billet temperature is 850°C

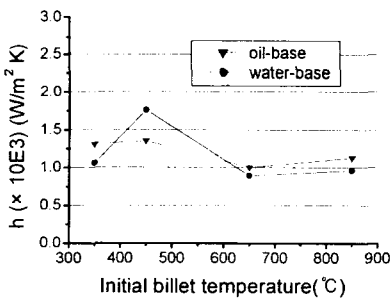
(a) : oil-base graphite, (b) : water-base graphite



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Heat transfer coefficient, when load is 60(kN)
 (a) : no treatment, (b) : carbon nitride
 (c) : ion nitride

5. 결론

금형 표면처리와 윤활제가 금형에 미치는 영향을 알아보기 위한 열적특성인 표면처리된 금형의 열확산계수와 계면열전달계수를 구한 결과 다음과 같은 결과를 구했다.

- (1) 열확산계수값은 침탄질화처리가 이온질화처리, 무처리보다 더 큰 값을 가지졌다.

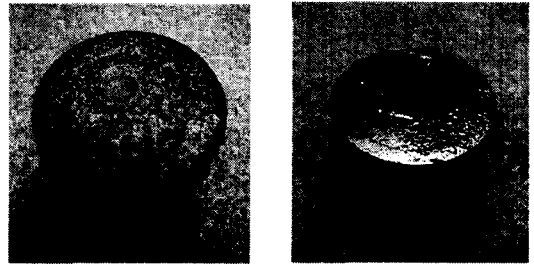
- (2) 침탄질화는 실제 공정에서 열을 발산시키는 정도가 크므로 열에 영향을 받는 정도가 다른 처리보다 작다.

- (3) 금형과 소재 사이의 직접적인 열전달을 위한 계면열전달계수를 구한 결과 유용성 윤활제가 수용성 윤활제보다 온간 범위인 850°C 부근에서 큰 값을 나타내었다.

- (4) 침탄질화처리된 금형이 열전달면에서도 이온질화처리된 금형보다 윤활제에 관계없이 단일 효과가 큰 것으로 나타났다.

- (5) 온간 단조에서 금형의 수명 향상을 위해서는 표면처리로는 침탄질화처리를, 가공윤활제로는 수용성 그래파이트를 사용하는 것이 유리한 조건임을 알 수 있었다.

앞으로의 연구는 본 연구의 결과인 표면처리와 윤활제에 따른 열적특성을 실제에 적용시키고 아울러 그래파이트의 온도와 하중에 따른 소재나 금형 표면의 고착 정도를 보다 자세히 파악하는 것이다.



(a)

(b)

Fig. 5 Graphite on surface of specimens, when initial billet temp. is 450°C

(a) : water-base, (b) : oil-base

참고문헌

1. 이진호, "열간단조금형의 수명예측기법 개발", 부산대학교 석사학위논문, 1999
2. 濟木弘行, 南明宏, "熱間鍛造における型の熱負荷の解析", 第34回塑性加工連合講演會, 第三報, 型の熱軟化實驗, pp.507-510, 1983
3. W. Nshama, J. Jeswiet, P. H. Oosthuizen, "Evaluation of Temperature and Heat Conditions at the Metal Forming Interface", J. Mater. Process. Technol., Vol. 45, pp. 637 - 642, 1994
4. Z. M. Hu, J. W. Brooks, T. A. Dean, "The interfacial heat transfer coefficient in hot die forging of titanium alloy", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 212, Part C, pp. 485 - 496, 1998