한국정밀공학회지 제 20 권 제 7 호 (2003 년 7 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 20, No. 7, July 2003.

표면처리 및 윤활제에 따른 열간 단조 금형의 수명 평가

이현철*, 김병민#, 김광호**

Die Life Estimation of Hot Forging for Surface Treatment and Lubricants

Hyun Chul Lee*, Byung Min Kim#, Kwang Ho Kim**

ABSTRACT

This study explains the effects of lubricant and surface treatment on hot forging die life. The mechanical and thermal load, and thermal softening which is happened by the high temperature of die, in hot and warm forging, cause die wear, heat checking and plastic deformation, etc. This study is for the effects of solid lubricants and surface treatment condition for hot forging die. Because cooling effect and low friction are essential to the long life of dies, optimal surface treatment and lubricant are very important to improve die life for hot forging process. 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 effects, experiments are performed for hot ring compression test and heat transfer coefficient in various conditions as like different initial billet temperatures and different loads. The effects of lubricant and surface treatment for hot forging die life are explained by their thermal characteristics. The new developed technique in this study for predicting tool life can give more feasible means to improve the tool life in hot forging process.

Key Words : Surface treatment (표면처리), Graphite lubricant (그라파이트 윤활제), Heat transfer coefficient (열전달계수), Tool life (금형 수명), Tempering parameter (템퍼링 파라메터), Plastic deformation (소성변형), Wear model (마멸 모델)

1. 서론

열간단조에서는 큰 하중, 심한 마멸, 반복되는 열피로 등에 의해 상대적으로 냉간단조보다 짧은 금형 수명을 가진다. 이런 단점을 개선하기 위한 연구는 계속되고 있다. 일반적으로 열간 금형의 수명을 단축시키는 주된 원인으로는 마멸(wear), 열피로(heat checking), 소성변형(plastic deformation) 등이 있다.[1~3] 이것들은 주로 금형과 소재의 마찰과 소재의 소성변형에 의해 발생된 열에 의해서 발생 된다. 기존의 연구들은 주로 마멸과 열피로에 관한 것이 많으며, 금형의 소성변형에 관한 연구는 상대적으로 부족하다. 열간단조 중에 반복되는 공정에 의한 금형의 소성변형은 열연화현상에 의해 발생된다. 특히 소성변형은 조금만 발생하더라도 금형에 상당한 영향을 주는 수명인자다. 따

접수일: 2002 년 9 월 6 일; 게재승인일: 2003 년 3 월 14 일
* 부산대학교 일반대학원
# 교신저자: 부산대학교 정밀 정형 및 금형가공 연구센터
Email: bmkim@pusan.ac.kr, Tel: (051) 510-2319
** 부산대학교 무기재료공학과

라서 이러한 강도저하에 의한 소성변형과 밀접한 관계에 있는 공정 중에 발생하는 열전달을 파악하는 것은 매우 중요하다. 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 열적 특성을 파악하여 금형과 소재사이의 열전달의 차이 정도를 비교하는 것은 필수적이다. 또한 열간 단조에 있어 금형의 윤활 정도에 따라 제품을 성형하는데 금형수명 차이가 많이 난다. 열간 단조 성형시 금형의 윤활 조건이 나쁘면 금형에 마멸이 집중되어 상대적으로 금형 수명을 단축시키고 제품의 치수정밀도 불량의 원인이 된다. 또한 소재와 금형 사이에 높은 마찰에 의해 제품을 금형으로부터 취출(ejecting) 하기 어렵기 때문에 열간 성형 중의 윤활 특성을 파악하는 것이 상당히 중요하다.[4]

본 연구에서는 유한요소해석과 금형수명해석을 위해 링 압축 시험을 통한 윤활제의 마찰 상수 측정과 금형 표면처리에 따른 계면 열전달계수를 측정하여 FEM 해석에 도입하였다. 그리고 금형 수명 평가 방법을 적용하여 생산 개수의 정량적인 비교를 통해 윤활제와 표면처리에 따른 금형 수명을 비교하였다.

2. 실험

2.1 윤활제의 마찰 상수 측정

열간 링 압축 시험을 통해 윤활제의 열간 마찰 특성을 파악하였다. 열간 링 압축 시험에 사용된 장비는 150ton 프레스이며, 금형재료로 열간 단조용 공구강인 STD61 을 사용하였다. 소재는 SM45C 를 사용하였으며 시험온도는 850℃로 설정하였다. 링 소재를 가열하기 위해서 전기 가열로를 사용하였다. 금형은 상· 하부에 전기 저항 열선을 이용하여 예열 되었으며, 균일한 온도 제어를 위하여 금형 상· 하부에 각 2 개씩 장착된 열전대를 삽입하였다. 시험전 상· 하부 금형 예열 온도는 300℃로 하였다. 시험에 사용된 윤활제는 흑연계 유용성 윤활제로 Acheson 사의 Soy Bean Oil+ Graphite 와 Oildag, 수용성 윤활제로는 Acheson 사의 Deltaforge #131+Graphite, Deltagraze #151+Glass frit 및 Renite 사의 S-26-X+Graphite 를 사용하였다.

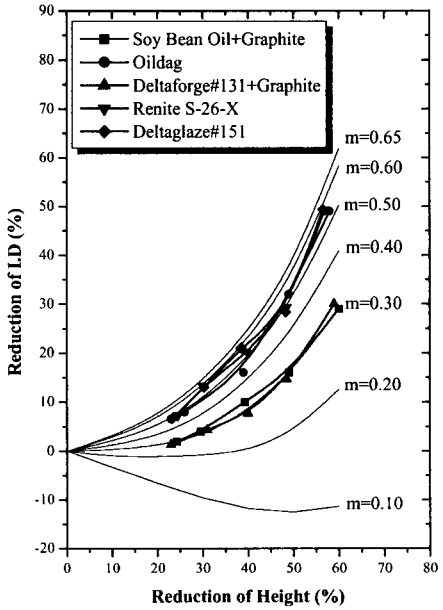


Fig. 1 Theoretical calibration curves and experimental results for hot ring compression

시험은 높이 감소율이 20%, 30%, 40%, 50% 및 60%가 되도록 압축하였고, 각 윤활제를 시편에 윤활하기 위해 상부 금형과 하부 금형에 스프레이를 이용하여 균일하게 도포하였다. 성형하는 동안 변형률 속도를 일정하게 하여 시험을 수행하였으며 마찰 보정 곡선(calibration curve)을 얻기 위하여 강소성 유한요소해석을 실시하였다. 보정 곡선 은 강소성 유한요소해석 코드인 DEFORM-2D 를 사용하여 작성되었다. 유한 요소 해석을 실시하는 동안 전단 마찰 상수 값은 일정하다고 가정하였다. 열간 링 압축 시험 결과 윤활제 종류에 따라 전단 마찰 상수 값이 큰 차이를 나타내었다. Fig. 1 에서 유용성 윤활제 Soy Bean Oil+Graphite 와 수용성 윤활제 Deltaforge #131+Graphite 의 전단 마찰 상수 값 은 0.30 을 갖는 결과를 보였으나, Oildag, Renite 및 Delta-glaze #151 은 0.50~0.60 사이로 열간 단조에서 윤활 특성이 불리한 것으로 나타났다.

2.2 윤활제 및 표면처리에 따른 계면열전달 계수 측정

열간단조 공정 중의 열발생과 열전달은 금형 수명과 단조품의 품질에 매우 중요한 인자들이다.

금형의 온도가 상승하면 금형의 항복강도 및 경도가 저하되어 소성변형 및 마모에 의한 금형 수명이 감소되는 원인이 된다. 따라서 금형의 윤활제 및 표면처리에 따른 내열 특성을 파악하는 것이 중요하다.[5~7]

윤활제 및 표면처리에 따른 계면열전달계수를 측정하기 위해 사용된 금형의 윤활제는 유용성 윤활제 Soy Bean Oil+Graphite 와 수용성 윤활제 Deltaforge #131+Graphite, 표면처리는 무처리, 이온질화 처리, 침탄질화 처리를 사용하여 계면열전달계수를 측정하였다.

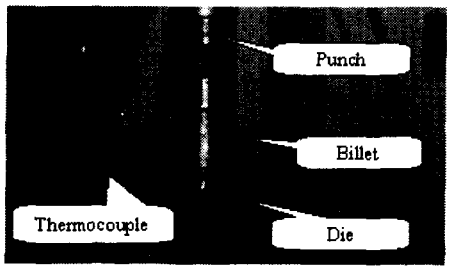
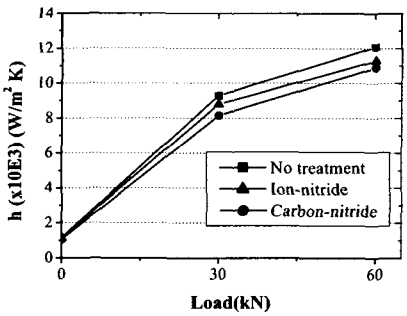
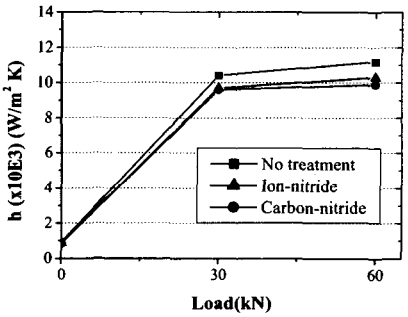


Fig. 2 Position of punch, billet, die and thermocouples during experiments



(a) Oil-based lubricant



(b) Water-based lubricant

Fig. 3 Heat transfer coefficients, according to applied loads

소재의 재료는 SM45C 를 사용하였으며, 금형은 STD61 을 사용하였다. 또한 가열온도는 소재는 850℃로 가열하였으며, 금형 온도는 300℃로 가열하였다. 가열된 소재에 대해 각각 0, 3, 6ton 의 하중을 가하여 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 장비는 25ton MTS(Material Test System)이며, Fig. 2 에 계면열전달계수 시험장치를 나타내었다. 먼저 300℃로 가열된 금형에 스프레이로 윤활제를 도포하고 850℃로 가열된 소재를 윤활 된 면에 올려놓고, 0, 3, 6ton 의 하중을 부가 하여 시험 시작으로부터 20 초 동안의 온도를 열전대로 측정하였다. 시험의 신뢰성을 확보하기 위해 시험 조건마다 4 회 반복적으로 온도를 측정하였다.

Fig. 3 은 가압하중조건에 따른 계면열전달계수(h)의 측정값을 나타낸 것으로서, 하중이 증가할수록 계면열전달계수가 높은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 수용성 윤활제가 유용성 윤활제보다 계면열전달계수가 작아져 열전달 특성이 우수한 것으로 나타났다. 표면처리조건에서는 침탄질화 처리의 경우에 계면열전달계수 값이 가장 작고 무처리 인 경우가 가장 큼을 알 수 있다. 하중에 따른 계면열전달계수의 상승폭이 무처리한 금형에서 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3. 열간 단조의 금형 수명 예측기법

본 연구에서는 열간 단조의 정량적인 금형 수명 평가 방법으로 금형이 열연화 되어 항복강도에 도달할 때까지의 경도 유지 시간으로 평가하는 소성 변형에 대한 금형 수명 평가 방법과 시간과 온도에 따른 금형의 고온에서 경도 변화와 표면층의 마멸량 증가에 따른 깊이 방향의 경도 변화를 고려한 연삭 마멸에 대한 금형 수명 평가 방법을 제시하였다.

3.1 열간 단조 금형의 소성변형에 대한 평가

열간 단조 금형은 템퍼링 과정을 거치면서 경도는 다소 감소하나 인성은 증가하게 된다. 이러한 템퍼링 영향에 의한 경도 저하는 성형과정에서 나타나는 반복적인 열 영향에 의한 금형 경도의 하락과 동일한 특성을 나타내므로 금형의 경도를 온도와 시간의 함수로 표현할 수 있다. 따라서 열간 단조 금형의 소성변형에 대한 금형 수명 평가

를 위해 고온에 의한 경도 변화를 평가할 수 있는 템퍼링 파라메터를 적용하였다.

템퍼링 파라메터(M)는 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 이식을 통해서 금형재료의 온도와 시간에 따른 경도의 변화를 평가할 수 있다.[8,9]

$$M = T \times (C + \log_{10} t) \times 10^{-3} \tag{1}$$

여기서 T 는 템퍼링 온도 (K), C 는 재료상수, t 는 템퍼링 시간이다. 일반적으로 탄소강의 C 값은 대략 20 이다. 또 실제 생산에 있어서는 금형은 단조성형에서부터 취출 되기까지 온도변화를 겪기 때문에 단조 1 사이클 동안의 금형의 온도를 나타내기 위해 상당온도(T_{eq})를 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{eq} = \frac{2T_{\max} + T_{\min}}{3} \tag{2}$$

여기서 T_{max}, T_{min} 은 온도 진폭 중 최고 및 최저 온도이다.

소성변형에 대한 금형 수명 평가를 위하여 템퍼링 파라메터 식(1)에서 템퍼링 시간 t 를 성형 중 금형의 강도가 열연화에 의해 항복강도에 도달할 때까지의 경도 유지 시간 t_h 로 바꾸어 식(3)과 같이 나타내어 금형 수명 평가를 하였다.

$$t_h = \exp\left(\frac{M_{yield} \times 1000}{T_{eq}} - C\right) \tag{3}$$

여기서 M_{yield} 는 항복강도에 도달시의 M 값이다. 열연화 실험을 통해 STD61 열간 금형강의 상당온도, 경도, 항복강도의 상호 관계를 나타낸 주 템퍼링 곡선은 Fig. 4 와 같다.

수명 평가를 위해 실제 적용한 금형은 1030℃ 에서 담금질 된 후 550℃ 에서 3 시간 동안 1 차 템퍼링, 600℃에서 3.5 시간 동안 2 차 템퍼링 된 Q.T.T 열처리 된 것이다. 금형 표면은 520℃에서 14 시간 동안 이온 질화 처리를 하였다. 따라서 금형 수명 평가를 위한 경도 유지 시간 t_h 값은 1, 2 차 템퍼링 시간 까지 고려하여 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{yield} = T_{eq}(C + \log(t_h + t_1 + t_2)) \times 10^{-3} \tag{4.1}$$

$$t_h = \exp\left(\frac{M_{yield} \times 1000}{T_{eq}} - C\right) - t_1 - t_2 \tag{4.2}$$

여기서, $t_1 = 10\exp\{T_1 / T_{eq} \times (C + \log t_h) - C\}$

$t_2 = 10\exp\{T_2 / T_{eq} \times (C + \log t_h) - C\}$

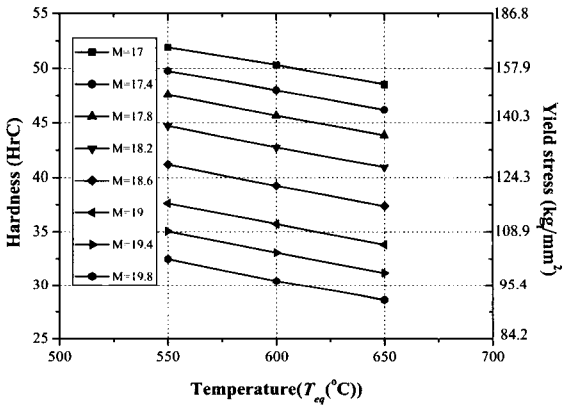


Fig. 4 Master tempering curve of STD61

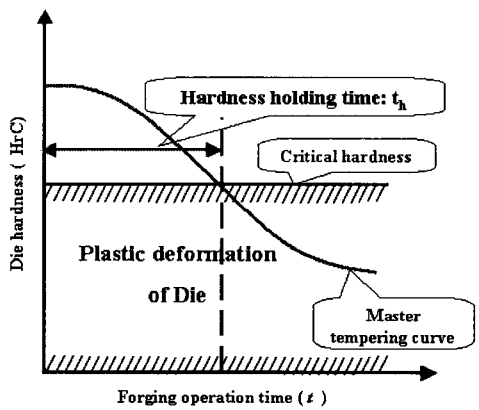


Fig. 5 Schematic illustration of criterion for plastic deformation

여기서 t_1, t_2는 T_{eq} 동안 1, 2 차 M_{yield} 값이 유지되는 시간이다.

먼저 성형 해석을 통해 구한 항복강도와 상당온도 값을 주 템퍼링 곡선에서 읽어 M_{yield} 값을 구

했다. 1, 2 차 T_{eq} 동안 대한 M_{yield} 값이 유지되는 시간 t_1, t_2 를 식(4)에 대입하여 경도 유지 시간 t_h 를 구했다. 마지막으로 경도 유지 시간 t_h 를 최종 금형의 1 사이클 시간(cycle time)으로 나누어 생산 개수를 예측하였다. 이상에서 제시한 금형의 소성변형에 대한 금형 수명 평가 방법을 정리하면 Fig. 5 와 같다.

3.2 열간 단조 금형의 연삭 마멸에 대한 평가

마멸 관련 인자들은 접촉면의 온도, 접촉면의 거칠기, 접촉돌기의 분포 등의 접촉상태와 금형재료의 경도, 금형에 작용하는 수직압력, 미끄럼길이, 상대속도, 윤활조건 등이며, 특히 열간 단조 공정에서 금형의 마멸은 제품의 치수 정밀도 및 제품 표면정도에 문제가 된다.[10~12]

열간 단조 금형의 수명평가를 위해서는 시간과 온도에 따른 금형의 고온에서 경도 변화와 표면 층의 마멸량 증가에 따른 깊이 방향의 경도 변화를 고려해야 한다.

열간 단조 금형의 마멸 깊이를 예측하기 위하여 Archard 마멸 모델식을 이용하였으며 마멸깊이에 따른 경도 변화를 고려한 수정 마멸모델 식(5)은 다음과 같다.[13]

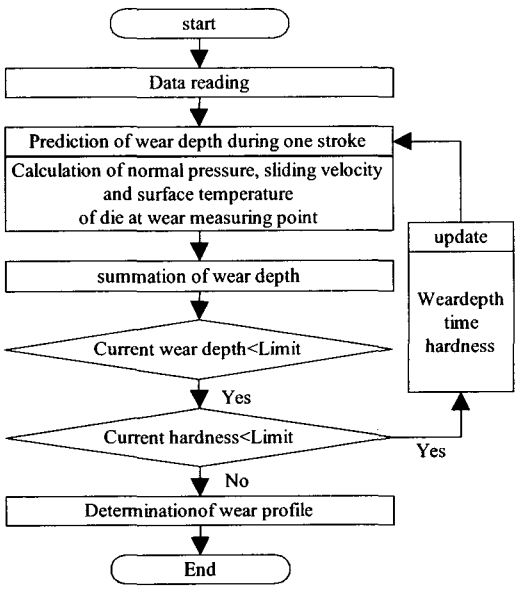


Fig. 6 Flow chart of abrasive wear analysis

$$W = \frac{k}{3h(M, wear\ depth\ )} \sum_{i=1}^{N} (\sigma_n v_s \Delta t) \qquad (5)$$

먼저 제품의 성형 해석을 통하여 금형면에 작용하는 압력(σ_n), 소재의 유동속도(v_s), 금형의 온도 분포를 구했다. 다음으로 금형재료에 대한 마멸 및 열연화 실험을 통하여 얻은 허용 마멸량 및 한계 고온 경도 값을 수정 마멸 모델 식(5)에 대입하여 마멸 해석을 수행하였다. 해석 결과를 통해 한 번의 성형 공정 동안 금형의 마멸깊이(W)를 계산하고 이 마멸깊이에 해당하는 경도 값을 예측하였다. 이 값들을 한계 값들과 비교하여 한 공정에 대한 금형의 수명을 평가 하였다. 마멸깊이가 허용치보다 작고, 경도 값이 한계 값 이상이면 금형의 형상을 마멸된 형상으로 변경하여 다시 마멸 해석을 수행 하고 금형의 수명을 예측하였다. 최종 금형의 마멸 깊이를 허용 마멸 깊이로 나누어 생산 개수를 평가 하였다. 이상에서 제시한 마멸에 대한 금형 수명 평가 방법을 정리하면 Fig. 6 과 같다.

4. 금형 수명 해석 및 결과

본 연구에서 제시하고자 하는 수명 예측기법을 적용하기 위해서 Fig. 7 에서와 같은 열간 단조 제품을 선정하였다. 본 연구의 대상 제품은 열간 축대칭 제품이며, 예비 엎세팅 공정, 블로커 공정과 피니쉬 공정의 3 단계로 이루어져 있다. 본 제품의 특징은 높이가 320 mm, 최대직경이 130 mm 이고, 긴 압출부를 가지고 있다. 외경이 3 단으로 이루어져 있으며, 최소의 기계가공이 작용할 수 있도록 밀폐단조로 성형 되기 때문에 일반적인 단조에 비해 각 단의 곡률부 라운드의 치수 정밀도가 상당히 중요하다. 따라서 피니쉬 공정의 곡률부(Point1,2)에 대하여 금형 수명 평가를 수행하였다.

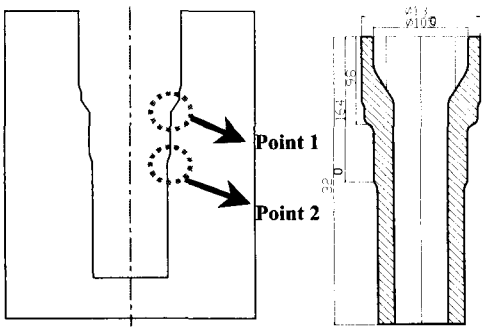
Table 1, 2 에 성형 해석 조건과 금형 수명 평가를 위한 윤활제와 표면처리에 따른 공정변수를 각각 나타내었다.

Table 1 Process conditions of FE analysis

Billet	*Material*	*SM 45C*
	Thermal conductivity	*74.93N/sec°C*
	Emissivity	*0.3*
	Heat capacity	*3.602N/mm°C*
Die	*Material*	*STD 61*
	Thermal conductivity	*28.6N/sec°C*
	Emissivity	*0.3*
	Heat capacity	*3.574N/mm°C*
	Surface treatment	*Ion-nitride*
Forging conditions	*Friction factor (m)*	*0.3*
	Heat transfer coefficient	*11.3N/secmm°C*
	Convection coefficient	*0.02N/secmm°C*
	Billet/die initial temp.	*1200,200°C*
	Forging velocity	*250mm/sec*

Table 2 Variation conditions of process variables

Process variables	*Conditions*
Lubricants	*Oil-based*
	Water-based
Surface treatments	*Ion-nitride*
	No treatment
	Carbon-nitride



(a) Finisher die (b) Product

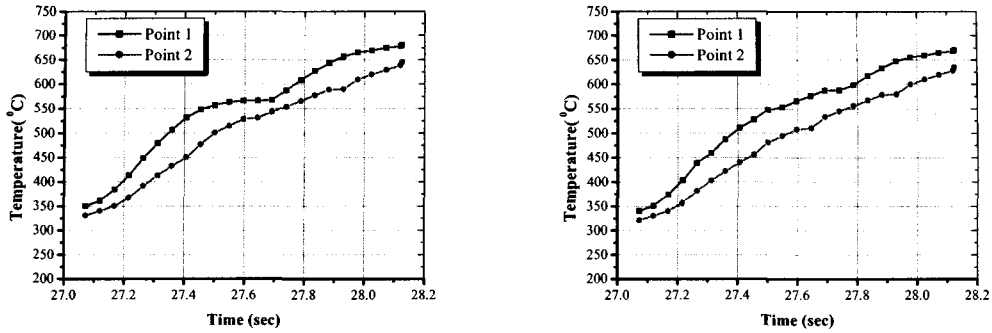
Fig. 7 Shape and dimensions of a finisher die and product

4.1 윤활제에 따른 금형 수명 평가

단조공정에서 소재는 상금형 또는 펀치의 이동에 따라 유동하여 금형의 형상으로 변형하게 되므로 금형과 소재의 마찰 조건은 소재 유동에 큰 영향을 주며, 또한 제품의 형상, 내부 결함, 금형에 작용하는 응력 및 성형 하중에도 영향을 준다. 높은 작업온도에서 성형압력이 높을 경우 일반적으로 액체 윤활제는 사용할 수 없게 된다. 따라서 대부분의 열간 단조 공정에서는 그라파이트와 같은 고체 윤활제를 사용한다. 윤활제에 따른 금형 수명 평가를 위해 선정된 윤활제는 열간 단조에서 주로 사용되고 있는 유용성 윤활제 Soy Bean Oil+Graphite 와 수용성 윤활제 Deltaforge#131+Graphite 이다. 열간 링 압축 실험을 통해 구한 윤활제에 따른 마찰계수는 0.3 으로 같은 값을 보였으나 계면열전달계수 측정에서는 수용성 윤활제가 상대적으로 낮은 값을 보였다. 수용성 윤활제와 유용성 윤활제의 계면열전달계수 차이로 성형 해석을 수행하였다. 소성변형에 의한 금형 수명 평가를 위한 상당온도 T_{eq} 를 계산하기 위해 피니쉬 공정 동안의 온도 변화를 Fig. 8 에 나타내었다. 마멸 해석 결과와 금형 강도해석 결과는 Fig. 9 에 나타내었다. 유용성 윤활제를 사용한 경우에 point 2 에서의 마멸깊이(δ)는 수용성 윤활제를 사용한 경우 보다 약 1.5 배 정도임을 알 수 있다.

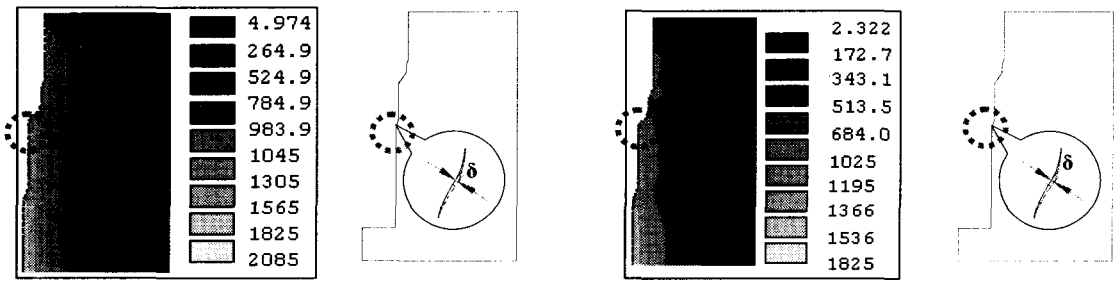
소성변형에 대한 금형 수명 평가에서는 수용성 윤활제를 사용한 금형의 수명이 길게 나타났다. Table 3, 4 에 윤활제에 따른 금형 수명 평가 결과를 각각 나타내었다.

물의 경우 발화점이 100°C 이기 때문에 이 이상의 온도에서는 물은 완전히 증발하여 남아 있지 않게 된다. 따라서 그라파이트는 고체상태로 금형과 소재 사이에 존재하기 때문에 금형과 소재의 접촉면이 유용성 그라파이트에 비해 작기 때문에 작은 계면 열전달 계수 값을 가지는 것이다. 그리고 온도가 증가함에 따라 물의 증발 시간이 소재의 온도가 높을수록 짧아지기 때문에 그라파이트가 소재 표면에 고착되어 있는 정도의 차이로 인하여 계면 열전달계수가 감소하는 것으로 판단되었다.



(a) Oil-based: Soy Bean Oil+Graphite (b) Water-based: Deltaforge #131+Graphite

Fig. 8 Temperature distributions for different lubricants



(i) $\bar{\sigma}$: 1322Mpa (Point 1) (ii) **δ:** 0.4688mm (Point 2) (i) $\bar{\sigma}$: 1282Mpa (Point 1) (ii) **δ:** 0.3586mm (Point 2)

(a) Oil-based: Soy Bean Oil+Graphite (b) Water-based: Deltaforge #131+Graphite

Fig. 9 Effective stress and wear depth for different lubricants

Table 3 Evaluation of die life for different lubricants: Plastic deformation

Lubricant	Soy Bean Oil+Graphite		Deltaforge #131+Graphite	
Measurement Point	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2
Equivalent Temperature (℃)	570	530	565	530
Effective stress (kg_f/mm^2)	132.2	141.1	128.2	137.1
Tempering parameter (M)	18.4	18.1	18.4	18.1
Life time (hr)	47.28	121.15	64.05	157.99
Product quantity (ea)	18915	48462	25620	63196

Table 4 Evaluation of die life for different lubricants: Abrasive wear

Lubricant	Soy Bean Oil+Graphite		Deltaforge #131+Graphite	
Measurement Point	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2
Wear depth (mm)	0.1100	0.4688	0.1060	0.3586
Product quantity (ea)	20359	6184	27353	8085

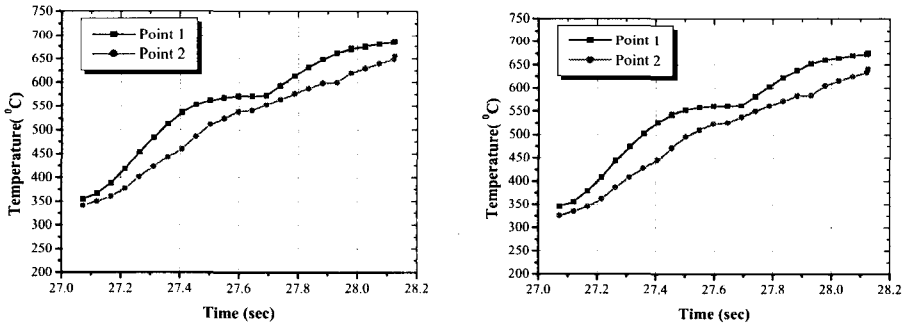
4.2 표면처리에 따른 금형 수명 평가

열간 단조용 금형은 1100~1200°C 정도의 높은 온도로 가열된 소재와 직접적으로 접촉하게 되므로 고온에서도 필요한 경도를 유지하고 마멸 및 열피로에 대한 저항성을 높이기 위하여 다양한 표면처리를 하고 있으며, 열간 단조용 금형재료로써 널리 쓰이고 있는 STD 61 과 같은 금형용 강에는 표면 처리가 특히 필요하다.

표면처리에 따른 금형 수명 평가를 위해 무처리, 이온질화 처리, 침탄질화 처리를 선정하였고, 고온 열특성 실험을 통해 구한 계면열전달계수 차이로 성형 해석을 수행하였다.

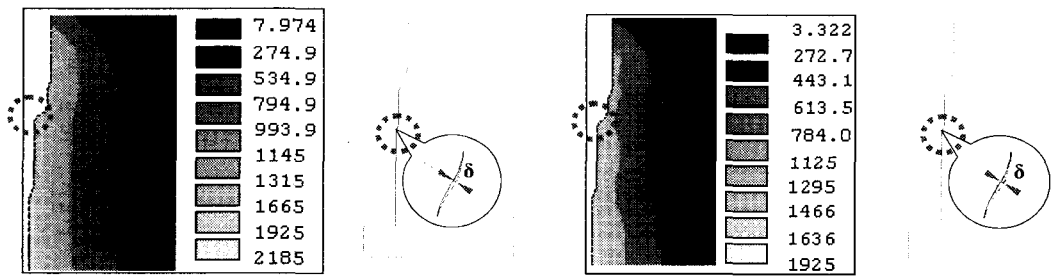
소성변형에 대한 금형 수명 평가를 위한 상당 온도 T_{eq} 를 계산 하기 위해 금형 표면처리에 따른 피니쉬 공정 동안의 곡률부 측정 지점(point 1,2)에서의 온도 변화를 Fig. 10 에 나타내었다. 마멸과 금형 강도 해석 결과는 Fig.11 에 나타내었다. 무처리 한 금형인 경우에 point 2 에서의 마멸깊이(δ) 는 침탄처리한 금형보다 약 2 배 정도임을 알 수 있다.

금형 표면처리에 따른 금형 수명 평가를 한 결과 소성 변형 측면에서는 무처리, 이온 질화 처리, 침탄 질화 처리 순으로 금형 수명은 높게 나타났고, 마멸에 대한 금형 수명 평가 측면에서는 금형 표면처리에 따라 소성변형에서와 같이 무처리, 이온질화 처리, 침탄질화 처리 순으로 금형 수명 향상이 나타났다. 그 중에서 침탄질화 처리가 수명이 가장 길게 나타났다. Table 5, 6 에 금형 표면처리에 따른 금형 수명 평가 결과를 각각 나타내었다. 침탄 질화 처리가 무처리, 이온질화 처리에 비해 상대적으로 계면열전달계수 값이 작아 성형 중에 단열 효과가 커 열에 의한 영향을 다른 표면처리보다 작게 받는다는 것을 알 수 있다.



(a) Surface treatment: No treatment (b) Surface treatment: Carbon-nitride

Fig. 10 Temperature distributions for different surface treatments



(i) $\bar{\sigma}$: 1360Mpa(Point 1) (ii) δ: 0.5965mm(Point 2) (i) $\bar{\sigma}$: 1301Mpa(Point 1) (ii) δ: 0.3225mm(Point 2)

(a) Surface treatment: No treatment (b) Surface treatment: Carbon-nitride

Fig. 11 Effective stress and wear depth for different surface treatments

Table 5 Evaluation of die life for different surface treatments: Plastic deformation

Surface treatment	No treatment		Ion-nitride		Carbon-nitride	
Measurement Point	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2
Equivalent Temperature (℃)	575	551	570	540	565	535
Effective stress (kg_f/mm^2)	136.0	145.3	132.4	142.1	130.1	140
Tempering parameter (M)	18.2	18.1	18.4	18.1	18.5	18.2
Life time (hr)	14.12	31.33	47.28	63.08	92.69	159.52
Product quantity (ea)	5650	9931	18915	25235	37077	63810

Table 6 Evaluation of die life for different surface treatments: Abrasive wear

Surface treatment	No treatment		Ion-nitride		Carbon-nitride	
Measurement Point	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2
Wear depth (mm)	0.1245	0.5965	0.1100	0.4688	0.0808	0.3225
Product quantity (ea)	23289	4861	20359	6184	35884	8990

5. 결론

본 연구에서는 소성변형에 의한 금형 수명 평가 방법 및 연삭 마멸에 의한 금형 수명 방법 평가를 제시하였고 생산 개수의 정량적인 비교를 통한 금형 수명 결정 요소인 소성변형과 마멸 중에 주 수명 감소 요인을 파악 하였다. 열간 단조 금형의 수명예측 해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 윤활제 평가에서는 유용성윤활제 Soy Bean Oil+Graphite 를 사용한 금형보다 수용성윤활제 Deltaforge#131+Graphite 를 사용한 금형에서 수명이 좋게 나타났으며 수용성 윤활제에서는 마멸에 의한 금형 수명 감소가 주 수명 감소 원인으로 나타났다.

2) 표면처리 평가에서는 무처리, 이온질화 처리, 침탄질화 처리 순서로 금형 수명이 좋은 것으로 나타났으며 침탄 질화 처리에서는 마멸이 주 수명 감소 원인으로 나타났다.

3) 윤활제 종류 및 표면처리조건에 일반적으로 마멸에 의한 금형수명이 금형의 소성변형에 의한 금형수명보다 짧아 열간 단조에서 마멸이 금형수명에 매우 큰 영향을 줌을 알았다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀 정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금 및 과학기술부의 NRL 프로그램 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Lange, K., "Modern metal forming technology for industrial production," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 71, pp. 2-13, 1997.
2. Olivier Brucelle, Gerard Bernhart, "Methodology for service life increase of hot forging tools," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 87, pp. 237-246, 1999.
3. Choi, J. C., Kim, B. M., Kim, S. W., "Computer-Aided Process Planning and Die Design for Hot Forging of H-Shaped Plane Strain Components," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 11, No. 2, Apr, 1994.
4. Hiroyuki Saiki, "Tribology in Warm and Hot Forming," JSTP International Seminar on Precision Forging, 1997.
5. Jeong, D. J., Kim, D. J., Kim, J. H., Kim, B. M., Dean, T. A., "Effects of surface treatments and lubricants for warm forging die life," Journal of

Materials Processing Technology, Vol. 113, pp. 544-550, 2001.

6. Burte, P. R., Im, Y. T. and Altan, T., "Measurement and Analysis of Heat Transfer and Friction During Hot Forging," Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 112, pp. 332-339, Nov. 1990.
7. Dean, T. A., Silva, T. M., "Die Temperatures During Production Drop Forging," Journal of Engineering for Industry, Vol. 101, pp. 385-390, 1979.
8. 湯淺紘二, 岡本治郎, "溫間鍛造用 金型の壽命におけろプレススライドモ一ツョンの影響についての考察," 塑性と加工, Vol. 22, No. 241, pp. 133-138, 1981.
9. Saiki, H., Marumo, Y., Minami, A., Sonoi, T., "Effect of the surface structure on the resistance to plastic deformation of a hot forging tool," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, pp. 22-27, 2001.
10. Lee, J. H., Kim, D. J., Kim, B. M., Kim, H. K., "Wear Analysis of Hot Forging Die Consideration Thermal," Transactions of Materials Processing, Vol. 9, No. 1, pp. 43-51, 2000.
11. P. H. Hansen, N. Bay, "A flexible computer based system for prediction of wear distribution in forming tools," Advanced Technology of Plasticity, Vol. 1, pp. 19-26, 1990.
12. Kim, T. H., Kim, B. M., Choi, J. C., "Prediction of die wear in the wire-drawing process," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 65, pp. 11-17, 1997.
13. Archard, J. F., "Contact and rubbing of flat surfaces," Journal of Applied Physics, pp. 981-988, 1953.