

온간단조 윤활제의 윤활 및 냉각특성

강종훈[#]· 고병호¹· 제진수²· 강성수³

Lubrication and Cooling Characteristics of Warm Forging Lubricants

J. H. Kang, B. H. Ko, J. S. Jae, S. S. Kang

(Received June 8, 2005)

Abstract

Lubrication and cooling characteristics are the most important factors of elevated temperature forging lubricants. Usually adopted lubricants in warm forging processes are graphite, synthetic and emulsion lubricants. Most widely and effectively applied lubricants are graphite lubricants, but these have a lot of problems like tool corrosion and dusty environment. In this research, boronite lubricant is considered, because it is able to substitute for graphite. Hot ring compression test, cooling test and mass production test are performed to check the validity of new lubrication pigment.

Key Words : Boronite Lubricants, Forging Lubricants, Cooling Capacity, Inverse Method, Warm Forging

1. 서 론

온간단조는 냉간단조에 비하여 낮은 유동응력으로 소재의 대변형이 가능하여 널리 적용되어지는 생산공법이다. 하지만 냉간단조에 비해 금형과 소재간의 마찰계수가 크고, 높은 열전달이 발생하여 상대적으로 낮은 금형수명 및 소재의 소착 등으로 작업성이 낮아지는 문제들이 발생한다[1~4]. 온간단조용 윤활제는 소재와 금형간의 마찰을 줄이는 동시에 금형의 온도를 저감시키는 냉각제로서의 역할도 요구된다[5~6].

흑연계(graphite) 윤활제는 가장 널리 사용되는 온간단조용 윤활제로서, 가격대비 성능이 가장 뛰어나지만 환경적인 문제와 금형의 부식등의 문제를 안고 있다. 비교적 낮은 변형에서는 에멀전(Emulsion) 윤활제를 사용하기도 하지만 제품의 형상과 작업조건에 제약이 많고 비교적 고가이다.

근래 흑연계 윤활제의 환경적인 문제를 해결할 수 있는 백색계 물질인 질화보론(BN, Boro-nite)이 주목 받고 있다.

본 연구에서는 고온 상태에서의 금형의 윤활 및 냉각 특성을 흑연계, 에멀전 윤활제와 질화보론을 주 성분으로 하는 윤활제를 개발하여 비교 평가하였다.

각 윤활제의 윤활 특성 평가를 위해 고온 링압 축실험을 실시하였고, 냉각 특성은 열전대가 부착된 시편을 가열한 후 윤활제를 도포함으로써 온도 구배를 측정하였다. 개발된 질화보론 윤활제에 대하여 양산성을 확인하기 위하여 온간단조로 생산되는 라인에 적용하여 성능과 작업성을 평가하였다.

2. 윤활제의 고온 윤활특성

고온 링압축시험은 열간단조에 주로 사용되는

교신저자 : 발레오 전장 시스템㈜, jonghun.kang@valco.com

1. 발레오 전장 시스템㈜
2. 경상대학교 수송기계공학부
3. 부산대학교 정밀기계공학과

Table 1 Lubricants description for ring test

| Type | Class | Application | Lubricant |
|-----------|-----------|-------------------|--------------|
| Synthetic | Solution | hot forging | SF200 |
| Pigment | Soluble | Hot, Warm Forging | FB400, SF300 |
| Emulsion | Oil+Water | Warm Forging | Berulit 625 |

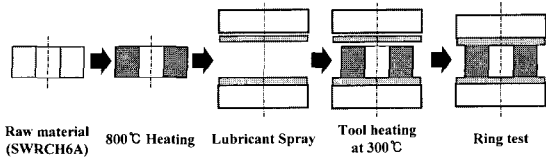


Fig. 1 Schematic description for ring test in elevated temperature

SF200⁽¹⁾, 온간단조에 적용되는 흑연계인 FB400⁽²⁾, 질화보론 윤활제 SF300⁽³⁾, 에멀전계 Berulit625⁽⁴⁾ 윤활제에 대하여 수행되었다[7]. 각 윤활제의 종류와 그 특성을 Table 1에 정리하였고, 윤활제별 물과의 희석비는 실제 작업조건과 동일하게 SF200 과 FB400, SF300 은 1:5, Berulit625 는 1:4 로 설정하였다.

시험편은 외경, 내경, 높이를 24, 12, 8mm 로 하여 S6C 로 제작되었으며, 금형은 STD61 소재를 사용하였다.

금형 표면에 윤활제를 도포한 후, 소재는 800℃, 금형은 300℃로 가열하였다. 소재를 금형에 안착시키기 전 금형에 다시 윤활제를 도포하고 압축 시험을 진행하였다.

10, 30, 50%로 압축된 시험편의 압축된 형상으로 부터 각각의 윤활제에 따른 마찰계수를 Fig. 2와 같이 구할 수 있다. SF200과 SF300의 경우 0.3, FB400의 경우 0.2, Berulit625의 경우 0.7의 마찰계수를 구하였다[7].

Berulit625가 실제 작업조건보다 높은 마찰 계수를 나타내고 있는 것은 윤활 입자(pigment)가 함유되어 있지 않는 윤활제이기 때문에 고온의 금형과 소재가 접하게 되면 천연 유지(natural oil)가 연소되어 윤활특성이 낮아지기 때문인 것으로 판단된다. FB400이 SF300에 비하여 좋은 윤활특성을 가지는 것으로 나타나고 있지만 이는 FB400에 첨가된 다량의 글리셀린에 의한 영향일 것으로

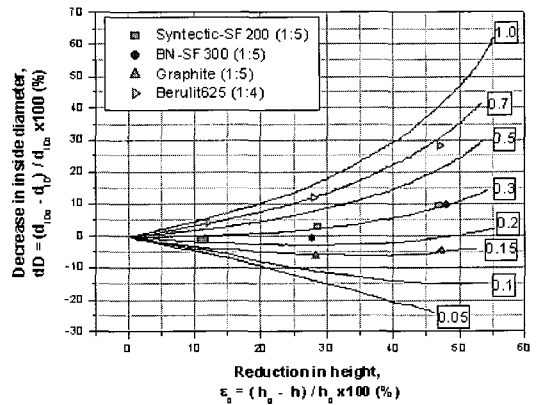
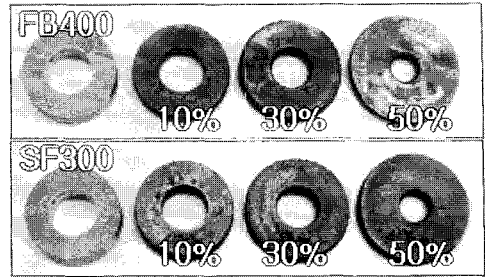


Fig. 2 Friction coefficients by ring compression test

판단된다. 하지만 시험편 원주 방향 변형의 균일도는 SF300이 FB400에 비하여 보다 균일하게 변형됨을 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

3. 냉각에 의한 대류 열전달 계수

냉각 시험은 STD61 시험편을 200℃, 400℃, 600℃로 가열한 후 25℃ 윤활제를 흐름방식(flowing type)으로 도포하여 시험을 진행하였다. 시험편의 형상은 Fig. 3과 같고, 단조작업 조건과 유사하게 소재와 접하는 면만 강제 냉각되도록 제작하였다.

윤활제는 Berulit625 와 FB400 을 각각 1:4 와 1:5 로 물과 희석시켜 흐름방식으로 도포 하였다. 질화보론 윤활제와 흑연계 윤활제의 윤활기구가 동일하여 흑연계 윤활제로만 실험을 실시하였다.

측정 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 등간격으로 열전대를 용접하여 부착하였다. 열전대로 부터 측정된 금형 표면온도를 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다. 윤활제에 따른 최종 온도는 큰 차이를 보이지 않지만 FB400이 Berulit625에 비하여 금형이 빠르게 냉각됨을 Fig. 4와 Fig. 5를 통하여 확인할 수 있다.

(1) SF200 열간단조용 윤활제 (주) 케미텍
 (2) FB400 그라파이트 윤활제 에치슨
 (3) SF300 보로나이트 윤활제 (주) 케미텍
 (4) Berulit625 에멀전 윤활제 칼스베켄

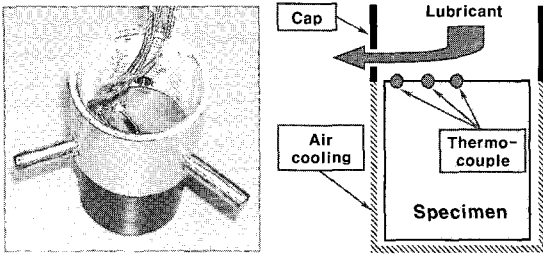


Fig. 3 Cooling specimen and boundary conditions

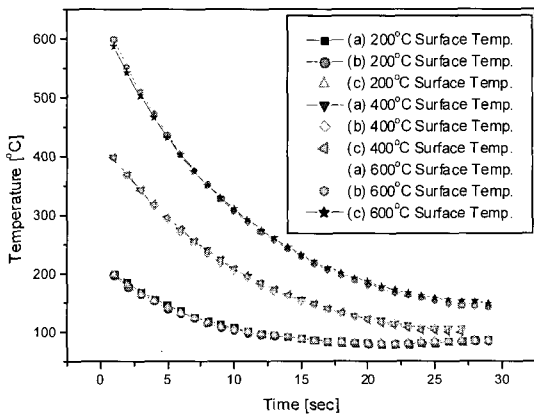


Fig. 4 Temperature change at point (a), (b), (c) by Berulit625 lubricants

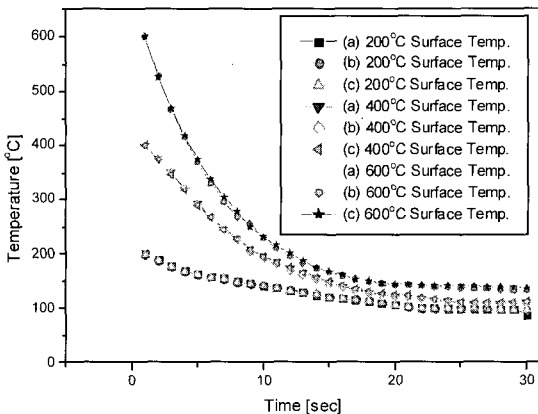


Fig. 5 Temperature change at point (a), (b), (c) by FB400 lubricants

윤활제별 냉각 특성을 대류 열전달 계수로 나타내기 위하여 역문제법(Inverse Method)을 이용하였다. 이를 위해 MPL-HT 열전달 해석 프로그램

Table 2 Material properties of STD61

| Air cooling convection coefficient [N/mm ² ·s·°C] | Thermal conductivity [N/s·°C] | Specific heat capacity [N/mm ² ·°C] | Lubricant temperature [°C] |
|--|-------------------------------|--|----------------------------|
| 0.002 | 28.6 | 3.54 | 25 |

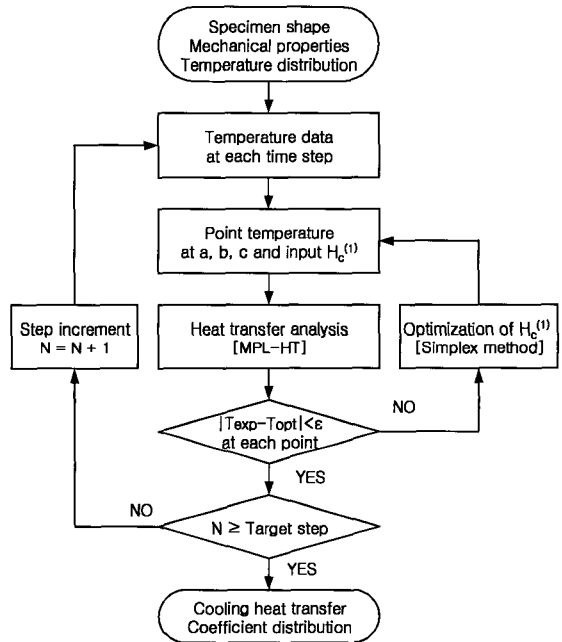


Fig. 6 Inverse method algorithm

[10]과 Simplex 법을 이용하여 최적화하였다. 해석에 필요한 STD61 강의 물성을 Table 2에 나타내었다[9].

각 지점의 해석 결과 편차가 0.5°C 이하 일 때 수렴하는 것으로 판단하여 그 값을 대류 열전달 계수로 취하였다. Fig. 6에 역문제법을 적용하기 위한 흐름도를 나타내었다[8~9].

역문제법을 이용하여 구한 윤활제에 의한 냉각 대류열전달 계수를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7로부터 FB400이 Berulit625보다 높은 대류열전달계수를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이는 Berulit625에 포함된 천연유지 성분이 물보다 냉각 특성이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

(1) Hc : Cooling heat transfer coefficient

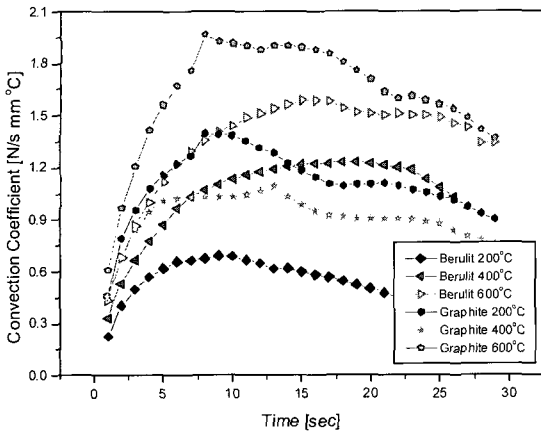


Fig. 7 Cooling heat transfer coefficient by Berulit625 and FB400

4. 윤활제를 이용한 양산 시험

윤활 특성과 냉각 특성이 평가된 윤활제를 이용하여 실제 양산공정에서 양산성 시험을 진행하였다. 흑연계인 FB400 은 환경적인 측면을 고려하여 시험에서 제외하였다. 시험은 온간단조로 생산되는 로타폴에 대하여 기존 Berulit625 를 사용하는 조건과 동일하게 진행되었다.

SF200 과 SF300 의 양산시험은 고온 링압축시험보다 희석비를 높혀 윤활제:물의 비율을 1:3 으로 진행하였으며, 초기 예열 과정은 생략되었다. 시험은 SF200, SF300, Berulit625 에 SF300 원액을 4:1 로 혼합한 3 가지 조건에 대하여 실시하였다.

온간 로타폴은 밀폐형 측방압출공정이 있어 윤활특성에 따라 작업성이 결정된다. SF200 과 SF300 은 작업 초기에 습동되는 상금형 분할부로 버가 발생하여 금형이 소착되었다.

Berulit625 와 SF300 의 혼합 윤활제의 경우는 Berulit625 만을 사용했을 때보다 작업성이나 프레스의 소음 등이 Berulit625 만을 사용했을 때보다 좋은 것으로 나타났다. 또한 표면의 상태도 수려하였으며 금형 수명 또한 30% 정도 증가하였다. Fig.8 에 양산 시험 결과를 나타내었다.

마찰특성이 Berulit625 보다 뛰어난 SF200 과 SF300 이 작업 초기에 금형 소착이 발생한 원인은 작업 조건중에 금형예열 과정이 없기 때문에 금형 표면에 윤활 입자가 충분히 증착되지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

| Lubricants | Forged shape | Operation blow |
|--------------------|--------------|----------------|
| SF200 | | 88 blow |
| SF300 | | 120 blow |
| Berulit625 + SF300 | | 12,000 blow |

Fig. 8 Mass production test result of each lubricant

5. 결론

최근 흑연계 윤활제가 가지고 있는 환경오염 문제로 인하여 주목받고 있는 질화보론 윤활제에 대한 윤활성 평가, 냉각시험, 양산시험을 통하여 다음과 같은 결론에 도달 하였다.

(1) 열간 윤활제 SF200, 흑연계 윤활제 FB400, 질화보론계 윤활제 SF300, 에멀전 윤활제 Berulit625 를 이용한 고온 링 압축실험을 통하여 SF200, SF300 의 마찰 계수가 0.3, FB400 이 0.2, Berulit625 는 0.7 로 나타났다. 실제 Berulit625 의 마찰계수는 0.2~0.3 정도 인것으로 알려 있는데, 이를 통하여 링압축 시험방법은 천연 유지가 주성분인 에멀전 윤활제의 마찰특성을 평가하는 것에는 적합치 않은 것을 확인하였다.

(2) 압축된 형상으로부터 마찰 계수는 흑연윤활제가 우수하나 균일 유동특성은 질화보론 윤활제가 우수함을 확인하였다.

(3) 윤활제에 따른 금형 냉각특성을 분석해 본 결과 수용성 흑연이 에멀전 윤활제 보다 좋은 냉각특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 유한요소 해

식에 적용될 경우 수용성 흑연계 윤활제는 0.45~0.6 [N/s·mm·°C], Berulit625 의 경우 0.25~0.45 [N/s·mm·°C]정도의 입력값이 단조공정에 적합함을 확인하였다.

(4) 백색계 윤활제인 SF200, SF300 과 유화윤활제에 SF300 을 혼합한 형태에 대한 양산성 시험을 실시하였다. 용해타입(solution type) SF200 과 용액타입(soluble type) SF300 을 금형 예열이 없는 생산공정에 적용할 경우 작업성이 현저히 떨어짐을 확인하였다. 에멀전(Emulsion) 윤활제 Berulit625 와 SF300 의 혼합형은 초기상태는 에멀전 윤활제의 작용으로 작업성이 유지되고, 금형의 온도가 상승한 후에는 질화보론 입자의 작용으로 성형성과 작업조건이 우수하여 금형수명이 증가함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Knoerr, 1996, Fatigue failure of cold forging tooling : causes and possible solutions through fatigue analysis, JMPT, Vol.46, pp. 57~71.
- [2] M.J.Liou, H.S. Hasiano, 1989, Prediction of die wear in high speed hot upset forging, ERC/NSM Report, No.99, pp. 33~39.
- [3] J. H. Kang, 1999, A study on a die wear model considering thermal softening: (I) construction of the wear model, JMPT, Vol.96, pp. 53~58.
- [4] J. H. Kang, 1999, A study on a die wear model considering thermal softening: (II) Application of the suggested wear model, JMPT, Vol. 94, pp. 183~188.
- [5] S. Shaljaskow, 2001, Tool lubricating systems in warm forging, JMPT, Vol.113, pp. 16~21.
- [6] Schey, 1983, Tribology in Metalworking - friction, lubrication and wear, American society metals.
- [7] D. J. Jeong, B. M, Kim, 2001, Effects of surface treatments and lubricants for warm forging die life, JMPT, Vol.113, pp. 544~550.
- [8] S. Sen, B. Aksakal, 2000, Transient and residual thermal stresses in quenched cylindrical bodies, Inter. J. Mech. Sci., Vol.42, pp. 2013~2029.
- [9] 진민호, 강성수, 2004, 냉간단조용 SCM420 강 의 퀴칭 시 열전달 예측모델 개발, 한국소성가 공학회지, Vol.13, No.5. pp. 441~448.
- [10] J. U. Jang, 2002, FE Program development for predicting thermal deformation in heat treatment, JMPT, Vol.130, pp. 546~550.