

냉간 단조용 수용성 윤활제의 윤활처리공정 최적화

이인수¹ · 제진수² · 김영량³ · 김병민[#]

Optimization of Coating Process of Water-based Lubricant for Cold Forging

I. S. Lee, J. S. Je, Y. R. Kim, B. M. Kim

1. 서론

냉간단조에 있어서 윤활제의 역할은 마찰을 경감시킴으로써 가공하중을 저감시킨다는 것을 우선 생각할 수 있다. 그 결과로 공구의 파손을 방지하거나 가공한계를 향상시키고 내부의 변형을 균일화시킬 수가 있다. 그 이외의 효과로는 공구와 피가공재와의 시저(seizer)를 방지함으로써 제품정밀도의 향상을 도모할 뿐만 아니라, 공구의 마모를 줄여 공구수명을 연장할 수 있다는 것 등이 있다.

20세기 초에 발명되어 1915년 경부터 냉간단조 가공의 윤활처리에 널리 사용하게 된 인산염피막(zinc phosphate coating)처리는 금속소재의 표면과 인산염과의 화학반응에 의한 피막을 생성시키고 이 피막과 유화제를 반응시킨 금속비누로 강력한 윤활피막을 형성시키는 방법이다(Fig. 1). 이 윤활처리는 냉간단조가공 시 발생하는 높은 압력과 온도로 인한 소착을 방지하고 금속비누에 의한 윤활효과로 뛰어난 성형성을 가지게 한다.

하지만 인산염피막처리는 다음과 같은 한계를 가진다[1].

- (1) 인산염층을 형성하는 화학반응은 슬러지를 만들고, 처리비용이 많이 든다.
- (2) 탱크 안에 슬러지가 침전하기 시작해서 시간이 경과함에 따라 화학약품은 열화현상을 일으키게 된다.
- (3) 아인산화합물은 환경에 악영향을 미친다.

(4) 세척액에는 산이 포함되어 있어 발생된 폐기물은 환경에 악영향을 미치게 되고, 공장 내부나 인산염피막처리라인은 발생증기로부터 부식에 대한 방지책을 계속적으로 실시해야 한다.

(5) 탱크는 일정한 온도로 유지하지 않으면 안되기 때문에 광열비가 필요하다.

(6) 인산염피막처리의 라인의 설비를 설치하기 위해서는 대단히 넓은 공간이 요구된다.

(7) 인산염피막처리는 일괄처리를 해야하기 때문에 많은 부품이 재고로 저장된다.

(8) 인산염피막처리 공정은 대략 1시간 정도로 오랜 시간이 소요된다.

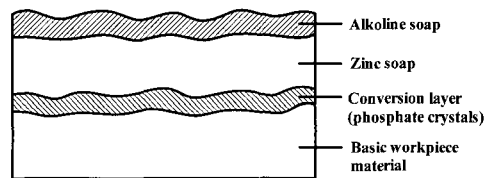


Fig. 1 Structure of zinc phosphate lubrication system

이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 인산염 피막처리에 비해 적은 공정수와 공정 시간 단축 및 뛰어난 마찰 성능의 윤활제에 대한 다양한 연구와 개발이 국·내외적으로 진행되어 왔다. 일본의 Mec International사에서는 철의 표면과 윤활제 속의 유황래디칼(Sulphur radical)이 반응한 유화철을 생성시킴으로써 윤활작용을 하는 Mec Homat이

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 경상대학교 기계항공공학부

3. 삼영화학

교신저자: 부산대학교 기계공학부,

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

란 수용성 윤활제를 개발하였으며 기존의 인산염 피막처리(Table 1)의 10공정에서 3공정으로 대폭 줄인 윤활처리장치를 개발하였다. 또한 일본의 大同化学사는 알킬포스포산(alkyl-phosphonic acid)유도체와 알루미늄 화합물이 계면활성제와 함께 물을 분산시켜 방청성과 가공윤활성능이 뛰어난 Royalcoat라는 수용성 윤활제를 개발하였다.

Table 1 Sheet of zinc phosphate coating process

No.	Process	Processing time [min]	Temperature [°C]
1	Degreasing	5~10	80~90
2	Rinsing	1~2	Room temp.
3	Pickling	5~8	Room temp.
4	Rinsing	1~2	Room temp.
5	Rinsing	1~2	70~80
6	Bonderite	5~8	80~90
7	Rinsing	5~8	80~90
8	Neutralizing	1~2	Room temp.
9	Bonderlube	2~3	70~80
10	Drying	5~10	80~90

국내에서도 일부 업체가 이러한 수용성 윤활제의 적용을 시도하고 있으나, 윤활 및 마찰성능 등에 관한 기술적 측면에서의 어려움으로 인해 실제 생산라인에 적용이 되지 않고 있다.

따라서 국내에서도 인산염피막처리의 문제들을 해결하기 위해 처리공정이 간단하며, 산업폐기물도 획기적으로 줄일 수 있는 친환경적 수용성 윤활제와 더불어 이를 처리할 수 있는 윤활처리장치의 개발이 요구된다.

T. Altan은 기존의 인산염피막처리와 수용성 윤활제인 Mec Homat(Mec International), Daido AquaLub(Daido Chemical Industries), MCI z-coat(Metal Coatings International)에 대해서 링압축실험(ring compression test)과 더블컵 전후방 압출 실험(double extrusion test)을 수행하여 윤활성을 평가하였다[2].

본 연구에서는 기존의 인산염피막 공정의 문제점을 극복하기 위한 대안으로 새롭게 개발된 친환경적인 수용성 윤활제와 윤활 처리 장치를 통해 윤활제 성능을 평가하고 인산염 피막처리의 대체 가능성을 제시하고자 하였다.

특히 윤활제의 윤활처리공정은 직교배열표를 이용하여 실험을 계획하고, 스파이크포징 실험(spike

forging test)과 더블컵 전후방압출 실험(doublecup backward extrusion test)을 통해 마찰상수를 평가하여 양호한 윤활 성능을 얻을 수 있는 윤활처리공정 조건을 제시하였다.

2. 수용성 윤활제의 개발

본 연구에서 개발된 수용성 윤활제는 철강, 스테인리스 및 비철금속의 냉간 단조에 사용되는 윤활제로서 백색의 저점도 무취 액체이다. 윤활제도포처리순서는 먼저 소둔처리된 소재의 산화물 제거 및 결면적증가를 위해 쇼트블라스트(shot blast)를 하고 탕세, 윤활, 건조의 공정을 거쳐 이루어진다. 본 연구에서 사용된 개발 윤활제의 성분비율 Table 2에 나타내었다.

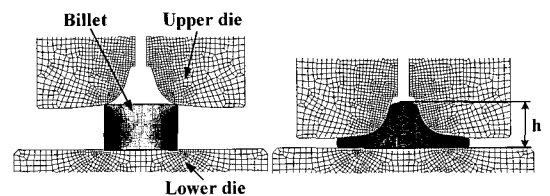
Table 2 Sheet of the chief ingredient rate of lubricant

H ₂ O	44%
Leveling agent	7.0%
Dispersing Agent	4.3%
Polymer resin	28.0%
Crosslinking Agent	4.0%
Zinc composite	2.0%
Surface active agent	3.0%
Extreme Pressure Agents	2.0%

3. 마찰 상수 평가 실험

3.1 스파이크포징 실험

스파이크포징 실험은 Fig. 2과 같이 상부 다이가 내려와 봉재의 시편에 업셋팅(upsetting)과 후방압출(backward extrusion)이 동시에 일어나는 성형법으로 후방 압출되는 높이(spike height, h)로 마찰상수를 결정하는 방법이다[3].



(a) Before forming (b) After forming

Fig. 2 Spike forging test

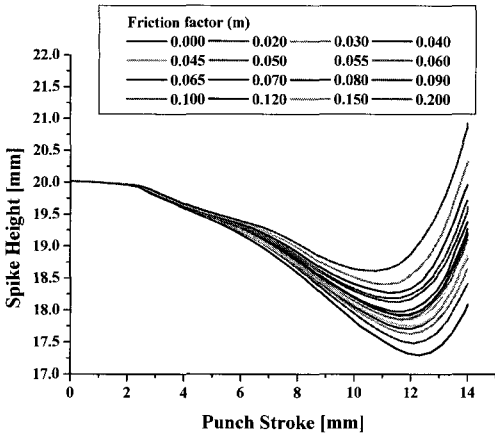
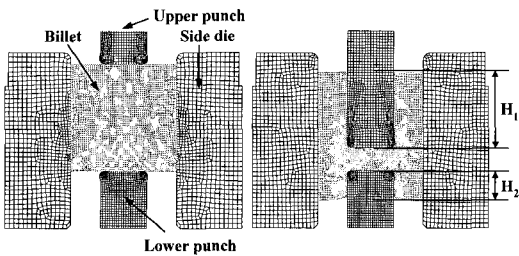


Fig. 3 Calibration curve of spike forging test



(a) Before forming (b) After forming
Fig. 4 Doublecup backward extrusion test

소재는 상부다이와의 마찰상수에 따라 업셋팅 되는 에너지와 후방압출되는 에너지 중에 더 작게 소요되는 방향으로 이동할 것이다. 마찰상수가 작을 경우는 소재는 업셋팅이 더 많이 되어 높이가 낮아지게 된다.

3.2 더블컵 전후방압출 실험

더블컵 전후방압출 실험은 봉재의 시편에 동일한 형상의 펀치로 위, 아래에서 하중을 가하여 소재가 전후방 압출될 때 전방 압출된 높이와 후방 압출된 높이의 비(H_1/H_2)로 마찰상수를 결정하는 방법이다[4]. 스파이크포징과 마찬가지로 더블컵 전방압출에너지와 후방압출에너지의 차이에 의해 높이차이가 발생하게 된다.

스�파이크포징과 더블컵 전후방압출 실험에 대한 마찰보간곡선(calibration curve)을 얻기 위해 상용유한요소해석코드인 DEFORM 을 사용하여 FEM 해석을 수행 후 Fig. 3~5 에 나타내었다.

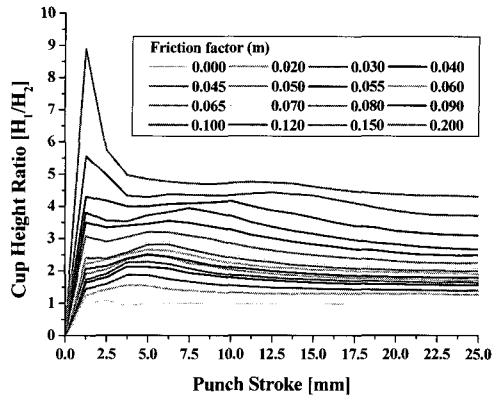


Fig. 5 Calibration curve of doublecup backward extrusion test

Table 3 Process sheet of lubricating water-soluble lubricant

No.	Process	Processing time	Temperature
1	Rinsing	1 min	60~100 °C
2	Lubricating	1~3 sec	40~60 °C
3	Drying	1~3 min	20 °C

Table 4 Parameters and levels selected for optimization of water-based lubricant coating process

Parameters	Levels
Dilution ratio (lubricant : water)	1:1, 5:3, 3:1
Rinsing temp.	80 °C, 90 °C, 100 °C
Rinsing time	10sec, 1min, 2min
Lubricating temp.	20 °C, 40 °C, 60 °C
Lubricating time	1sec, 3sec, 1min
Drying temp.	20 °C, 60 °C, 100 °C
Drying time	1min, 2min, 3min
Leaving time after processing	1hour, 9hour, 1day

4. 수용성 윤활제의 윤활처리공정 최적화

4.1 수용성 윤활제의 윤활처리공정

수용성 윤활제의 윤활처리공정은 Table 3과 같이 탕세, 윤활, 건조의 3공정으로 이루어 진다. 탕세 공정은 냉간단조에 사용될 소재를 80 °C의 물속에서 1분간 침지 또는 분사시켜 세척하고 소재를

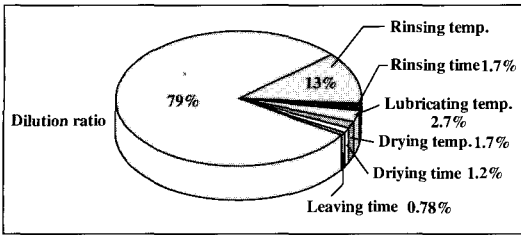


Fig. 6 Effect of parameters

Table 5 Optimal coating process of water-soluble lubricant

No.	Process	Processing time	Temperature
1	Rinsing	10sec	100℃
2	Lubricating Dilution ratio (5:3)	1sec	20℃
3	Drying	1min	20℃

에열하는 공정이다. 두번째로 윤활공정은 40~60℃의 윤활제에 1~3초간 침지 또는 분사시켜 소재의 표면에 윤활피막을 형성하는 공정이다. 마지막으로 건조공정은 소재 표면에 도포된 윤활제를 건조시키는 공정이다.

본 연구에서는 각 공정별 조건의 영향력을 분석하기 위해 실험계획법을 실시하였다. 공정별로 각각 3수준의 L27(3¹³)형 직교배열표(orthogonal array)를 통해 실험계획을 세웠으며 Table 4에 각 인자별 수준을 나타내었다.

4.2 각 공정변수별 분석

각 공정변수별로 실험을 실시하였고 그 영향력을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 회석비가 마찰상수(m)에 가장 큰 영향력을 미칠 수 있다. 윤활제의 함량이 클수록 마찰상수가 작아짐을 볼 수 있었으나 윤활제가 과다할 경우 단조가공 시 발생하는 열발생으로 윤활제의 소착이 발생하였다. 따라서 윤활성능을 일정 수준 유지하면서 윤활제의 소착이 발생하지 않는 적정 회석비를 5:3(윤활제:물)로 결정하였다. 두번째로 큰 영향을 미치는 탕세온도는 온도가 증가함에 따라 마찰상수가 감소함을 알 수 있다.

각 공정변수의 최적화는 에너지가 가장 적게 들고 마찰상수가 작아지는 망소특성으로 결정하였으며 각 공정변수를 Table 5에 나타내었다.

Table 6 Experimental Matrix

No.	Lubricant	Type
1	Zinc phosphate	Non-water-soluble
2	Mec Homat	Water-soluble
3	Royalcoat	Water-soluble
4	The developed lub.	Water-soluble

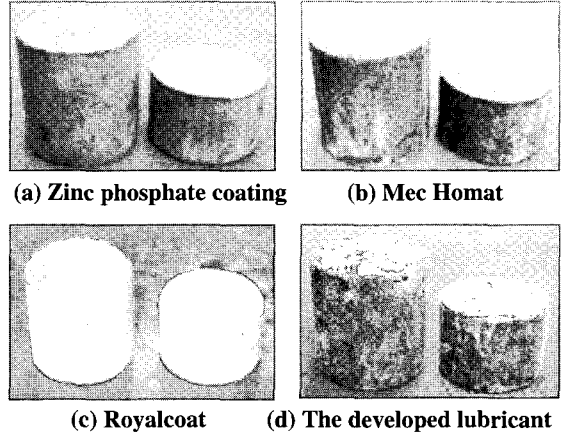


Fig. 7 Lubricated billets before experiments

5. 윤활제의 비교

5.1 인산염피막과 수용성 윤활제의 비교

새로이 개발된 윤활제의 비교 대상은 기존의 인산염피막처리와 앞서 소개되었던 수용성 윤활제 2종류로 선정하였으며 이를 Table 6에 나타내었다. 수용성 윤활제들은 모두 탕세, 윤활, 건조의 3공정에 의해 도포되었다. 시험용소재는 소둔처리된 SM10C의 소재를 사용하였고 각 윤활제 별로 윤활피막을 도포한 형상을 Fig. 7에 나타내었다.

5.2 스파이크포징 실험

실험은 200ton 유압식 프레스에서 수행되었으며 윤활제 별로 상부 펀치의 스트로크 9.2mm, 12mm에 따라 각각 10회씩 수행되었다. 유한요소해석을 통해 얻은 마찰보간곡선에 각 윤활제별 스트로크에 따른 스파이크 높이를 Fig. 8에 도시하였다.

5.3 더블컵 전후방압출 실험

실험은 600ton 기계식 프레스에서 수행되었으며 윤활제별로 상부 펀치 스트로크 15mm, 25mm에 따라 각각 10회씩 수행되었다. 유한요소해석을 통해 얻은 마찰보간곡선에 각 윤활제별 스트로크에 따른 높이비를 Fig. 9에 도시하였다.

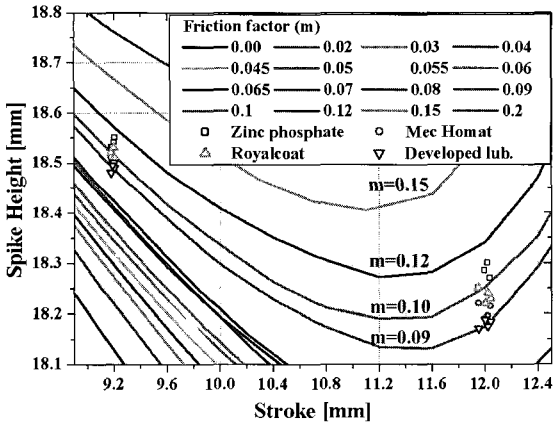


Fig. 8 Spikeforging test

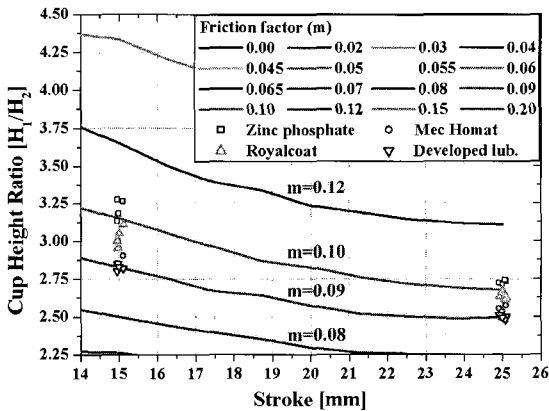


Fig. 9 Doublecup backward extrusion test

Table 7 Results for doublecup backward extrusion and spikeforging test

No.	Lubricant	Friction factor, m
1	Zinc phosphate	0.10~0.11
2	Mec Homat	0.09~0.10
3	Royalcoat	0.09~0.10
4	The developed lub.	0.09~0.095

더블컵 전후방압출과 스파이크포징 실험을 통해 얻은 마찰상수를 Table 7에 나타내었다. 인산염 피막과 선진국의 수용성 윤활제와 비교해 보았을 때, 본 연구에서 사용된 수용성 윤활제가 유사한 윤활성능을 가짐을 알 수 있다.

6. 결론

기존의 냉간단조에서 광범위하게 사용되고 있

는 인산염 피막처리공정을 비교 대상으로 공정수, 에너지 절감 및 공정시간 단축, 공정수 감소로 인한 설비공간의 최소화, 환경 오염 등의 측면에서 대등한 수준의 윤활 성능을 가지면서도 3 단계 공정수, 에너지 절감, 시간 단축, 수용성이고 친환경적인 윤활제 특성, 윤활제의 환경 오염 문제 등 다각적인 개선을 얻을 수 있었다.

실험계획법의 간이 분석법에 의해 분석된 결과 윤활제 성능에 미치는 주된 기여도는 희석비 79%, 탕세온도 13%, 윤활처리온도 2.7%의 순으로 희석비가 윤활 성능에 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 분석 되었으며 일정한 윤활제의 희석비를 제시하였다. 또한 이들의 경향성을 바탕으로 윤활 처리 공정에서 첫 공정인 탕세 공정의 온도를 높이고 나머지 공정의 온도를 낮춰 에너지소비를 더욱 감소시킬 수 있었다.

또한 본 연구에서 사용된 국산 수용성 윤활제의 윤활성능이 선진국의 수용성 윤활제 및 인산염피막과 비슷한 수준을 보였고 이번 연구를 바탕으로 지속적인 윤활제의 개발과 윤활 처리 공정의 최적화에 대한 연구로 더 작은 에너지와 단순한 처리공정에서도 친환경적이고 높은 윤활성능을 가지는 윤활제 개발의 가능성을 확인하였다.

후 기

본 과제는 에너지관리공단의 에너지·자원기술개발 사업의 지원으로 수행되었습니다. 또한 참여기업인 삼영화학과 포징솔루션에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 2003, 냉간단조 대체윤활제의 적용, 월간 프레스기술, Vol. 4, pp. 37~48.
- [2] T. Altan, 2004, Evaluation of new lubricants for cold forging without zinc phosphate coating, ICFG Annual Meeting, Turkey, September 13/15.
- [3] W. L. Xu, K. P. Rao, 1997, Analysis of the deformation characteristics of spike-forging process through FE simulations and experiments, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 70, pp. 122~128.
- [4] F. Fereshteh-Saniee, H. Bayateefar, 2002, Experimental comparison of different friction tests in bulk metal forming, Advanced technology of plasticity, Vol. 1, pp. 91~96.