

# 냉간단조용 금형 수명에 미치는 공정 변수의 영향

이영선\*, 최석탁\*\*, 권용남\*, 임영목\*, 이정환\*

## Process variables and die life for cold forging

Y.S.Lee\*, S.T.Choi\*\*, Y.N.Kwon\*, Y.M.Rhyim\*, J.H.Lee\*

### Abstract

For the production of cold forged parts with near-net-shape attributes, the quality of the tool system is responsible for an essential portion of costs for the finished components. Therefore, a tool life is one of the important issues on cold forging industry. There are many complicated variables related with tool life, such as material, heat-treatment, coating, lubricant, process design.

In this study, heat-treatment of tool material and lubricant are investigated to improve the tool life. Deep cryogenic treatment of tool steel is very efficient to improve the wear resistance due to the fine carbide. And, friction factor of lubricants for cold forging are measured by the ring compression test. Zinc-Phosphate and MoS<sub>2</sub> lubricant is effective to sustain the friction factor under 0.1

**Key Words:** Cold Forging, Die Life, Process Variable, Lubricant, Coating, Deep Cryogenic Treatment

### 1. 서 론

냉간 단조품은 정형가공(net-shaping)에 유리한 공정인 만큼 자동차 부품 제조를 위해 적용되면서 그 꽃을 피우기 시작하였으며, 현재는 자동차 시장의 세계적 차원의 무한경쟁과 global sourcing 체제에 부응하기 위해 제조 원가 절감을 위한 기술 개발이 그 중심을 차지하고 있다.

제조원가 절감을 위해 필요한 냉간 단조품의 생산성 향상은 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 금형 수명을 향상시키는 것과 공정을 단축시키는 것, 그리고 단조품 치수 정밀도를 향상시켜 후가공을 삭감하는 것이 주요항목을 차지한다. 이 가운데, 치수정밀도 향상과 공정 최적화는 제품에 따라 각각 연구개발이 수행되어야 하는 개별적인 사항인 반면에 금형 수명 향상 기술은 제품에 관

계없이 적용되는 공통 기반기술에 해당된다. 따라서, 상대적으로 효과가 더 크게 반영될 수 있는 기술인 만큼 개발의 필요성은 매우 높다. 그러나, 기반 기술에 해당되는 만큼 변수의 정량화에서부터 복합적인 효과의 획득을 위한 지속적인 개발이 필요한 연구영역에 해당된다.

금형 수명의 향상을 위한 체계적인 기술 개발을 위해 금형 수명을 좌우하는 파손 기구를 작용 응력의 크기에 따라 발생하는 순으로 분류하면 파괴(fracture/fatigue), 소성변형(plastic deformation), 그리고 마모(wear)로 분류할 수 있다. 결국 금형 수명향상은 다양한 냉간 단조 공정 변수(다단 공정 설계, 금형 설계, 금형 가공, 윤활 등)의 정밀 분석을 통해 파손이 발생하는 시점을 늦추는 것을 의미하고 있다. 표 1은 금형 수명에 영향을 미치는 공정 변수의 종류를 정리한 것이다.

\* 한국기계연구원

\*\* ㈜ 티에이케이

Table 1 Process variables related with die life

Variables	Details
Process design	-No. of steps -Process annealing
Die design	-Sharp corner -Shrink fitting
Die manufacturing	-Die material -Heat treatment -Coating
Lubricant	-Type, amounts -Surface roughness
Etc.	Workpiece material

이러한 공정변수 가운데, 본 연구에서는 냉간단조 금형의 수명에 미치는 공정 변수의 종류를 정리하고 공정 변수 가운데 금형 열처리와 윤활 조건에 따른 영향을 분석하고자 한다.

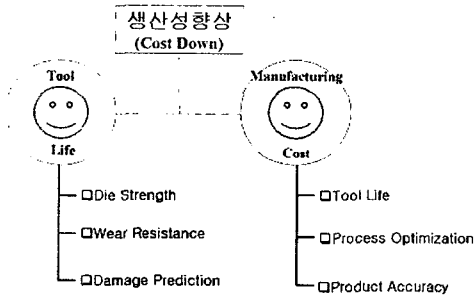


Fig.1 Contents to cost down in cold forging

## 2. 초 심냉 처리에 의한 내마모성 향상

초 심냉 처리(Dep deep cryogenic treatment)란 공구강을 열처리함에 있어 오스테나이트화 후 템퍼링을 실시하기 전에 액체질소 온도 부근의 저온에서 일정 시간 유지한 후 템퍼링을 실시한 것으로, 이를 통해 공구강의 내마모성을 향상시킬 수 있다. 기존의 서브제로처리 또는 저온처리(-80°C 이상)는 잔류오스테나이트의 마르텐사이트로의 상변태에 중점을 둔 반면 -196°C 이하의 초 심냉 처리는 나노단위의 미세 탄화물 석출에 의한 내마모성이 향상됨에 따라 공구수명이 최고 6 배까지 향상시킬 수 있는 수준으로 이는 TiN 코팅 이상의 효과에 해당된다.



(a)



(b)

Fig. 2 TEM Micrographs of quenched and tempered specimen (a) and additional deep cryogenic treated specimen (b).

본 연구에서는 냉간단조용 공구강으로 널리 사용되고 있는 KS-STD11 강종의 미세조직 및 내마모특성에 미치는 초 심냉 처리의 영향을 분석하였다. 열처리 조건은 1005°C 에서 1.5 시간 동안 가열하여 오스테나이트화 처리 후 공냉하였으며, 뜨임처리는 580°C 에서 2 시간 동안 가열 후 공냉

하는 과정을 2 회 반복하였다. 또한 초 심냉 처리는 오스테나이트화 처리 후, 뜨임 처리를 실시하기 전에 액체질소에 20 시간 동안 침지하여 실시하였다.

그림 2 는 오스테나이트 및 뜨임 처리만을 실시한 시편(Fig. 2-(a))과 초 심냉 처리를 추가로 실시한 시편(Fig. 2-(b))의 TEM 사진으로 탄화물의 크기 및 분포 등을 보여주고 있다. 뜨임 처리 온도를 변화시켜 미세조직을 관찰한 결과 뜨임 처리 온도가 증가할수록 탄화물량이 증가하고 조대화되었으며 초 심냉 처리를 실시한 경우, 탄화물이 상대적으로 미세화되고 그 수가 증가하였다. 이러한 경향은 그림 2 에 잘 나타나있으며 이는 초 심냉 처리에 따라 탄화물의 핵생성 구동력이 변화되기 때문으로 판단된다.

내마모성 비교를 위해 각각의 마모시편을 가공하여 입도 15 $\mu$ m 의 다이아몬드 입자가 함유된 폴리머 패드를 상대재로 하여 10 분간 마모시험을 수행한 후 시편의 높이 감소를 측정한 결과 그림 3 과 같이 초 심냉 처리를 한 경우가 내마모 특성이 20% 이상 향상됨을 알 수 있다. 초 심냉 처리 시편은 경도는 미소하게 감소하고 내 충격성은 증가하여 조직이 연화된 것으로 나타났으나 내마모특성은 오히려 향상되고 있다. 또한 잔류오스테나이트의 저감을 위해 행해지는 기존의 서브제로 처리와의 비교를 위해 -84 $^{\circ}$ C 에서 2 시간 동안 저온처리를 실시한 시편에 비해서도 내마모 특성이 우수한 결과를 나타내었다. 이와 같이 내마모 특성이 향상되는 이유는 그림 2 에 나타나 있는 바와 같이 미세한 탄화물이 형성되기 때문으로 판단된다.

### 3. 윤활 특성 향상을 위한 윤활제 분석

냉간 단조에 사용되는 윤활제에는 인산염피막이 가장 일반적이다. 인산염 피막은 냉간단조를 가능케 한 가장 핵심 기술인 만큼 1930 년대 독일의 Singer 박사가 최초로 방청목적의 인산염 피막을 냉간 단조에 적용하여 성공한 이후로 현재까지 가장 널리 이용되고 있다.

냉간 단조용 윤활제는 금형과 단조 소재간의 마찰을 감소시켜 성형 하중을 저감시켜주고 표면결함 발생을 방지해주며 금형의 마모를 감소시켜 줌으로써 궁극적으로는 금형 수명을 향상시켜주는 역할을 한다. 따라서, 본 연구에서는 기존 윤활

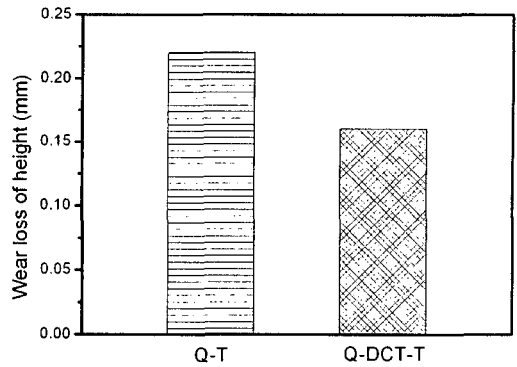


Fig.3 Loss of height after wear test

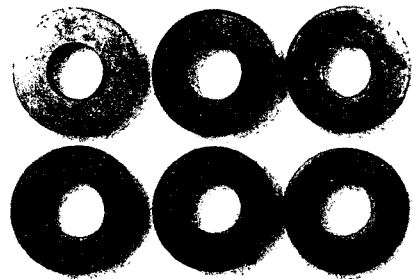


Fig.4 Ring specimens after compression test

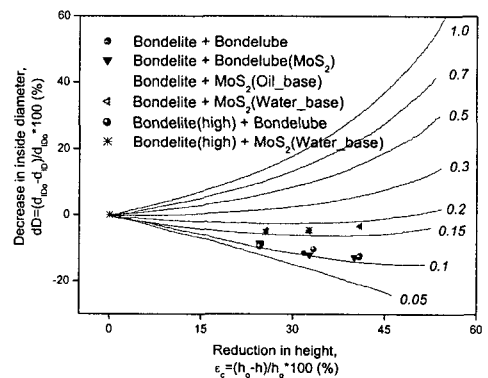


Fig.5 Shear friction factor of various lubricants measured by the ring compression test

제 보다 우수한 특성을 나타낼 수 있는 상업용 윤활 방법을 고찰하고자 하였다. 시험에 사용된 윤활제는 모두 6가지로서 기존 윤활제와 MoS<sub>2</sub>를 조합하여 제조하였다.

윤활 특성 분석을 위해 그림 4 와 같이 링 압축

시험(Ring Compression Test)을 수행하였으며 그림 5 와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 시험에 사용된 시편은 SCM420H 소재를 외경 : 내경 : 높이가 48 : 24 : 16mm 로 가공하여 시험하였으며 가능한 한 치수 측정시 발생하는 오차를 감소시키고자 하였다.

그림 5 에서 알 수 있듯이 가장 일반적으로 사용되는 윤활제의 경우도 작업 조건을 준수하면 전단마찰계수가 0.1 수준을 유지할 수 있음을 알 수 있었다. 한가지 특이한 결과는 윤활 특성이 우수한 것으로 알려져 있는 MoS<sub>2</sub> 윤활제가 Bondelube 와 같이 사용되지 않고 단독으로 사용되면 오히려 그 특성이 좋지 않다는 것이다. 이상의 결과를 토대로 향후 보다 우수한 윤활 특성을 갖는 윤활제의 개발을 수행할 것이며 현장 적용 실험을 통해 금형 수명 향상을 위한 방안을 체계화하고자 한다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 계획

냉간 단조용 금형의 수명 향상을 위해 금형 열처리와 윤활 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 공구강의 열처리에 적용될 수 있는 초 심냉 처리는 미세한 탄화물의 형성을 유도하기 때문에 내마모성을 20%이상 향상시켜 주는 장점이 있음을 미세조직 사진과 마모시험을 통해 입증하였다.

2) 냉간 단조용 윤활제의 특성을 향상시켜 금형 마모량을 감소시키고자 6 종류의 냉간단조용 윤활제를 제조하여 분석한 결과 Bondelite + Bondelube 윤활제와 MoS<sub>2</sub> 를 첨가한 경우가 전단마찰계수가 0.1 로 매우 낮은 값을 나타내었다.

이상의 결과를 토대로 금형의 열처리와 코팅 기술을 계속적으로 개발하고 상업적으로 이용이 가능한 종류의 보다 우수한 윤활제 개발을 위해 연구를 수행할 계획이다.

#### 후 기

본 연구는 자동차 기반 기술 개발사업으로 추진 중인 “고 난이도 고정밀 자동차 단조 부품의 생산성 향상 기술 개발” 과제의 연구 결과로서 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Paul C.Miller, 1980, “Deep cold solves heat-treat problems”, Tooling & Production, Vol.4, pp82-86
- (2) J.Y.Huang, Y.T.Zhu, X.Z.Liao, I.J.Beyerlein, M.A.Bourke, T.E.Mitchell, 2003, “Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel”, Materials Science and Engineering, Vol. A339, pp241-244
- (3) D. Mohan Lal, S.Renganarayanan, A. Kalanidhi, 2001, “Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels”, Cryogenics Vol. 41, pp149-155
- (4) Byrer, Forging Handbook, ASM
- (5) T.Altan, S.I.Oh, H.L.Gegel, Metal Forming, ASM
- (6) 冷間鍛造の実際, 工学図書(株), 1970
- (7) John Walters, Wei-Tsu Wu, Anand Arvind, Guoji Li, Dave Lambert Tang, 2000, “Recent development of process simulation for industrial applications”, J. of Materials Processing Technology 98, pp205-211
- (8) F. Seidel, H-R. Stock, P. Mayr, 1996, “Development on ion-implanted hard coating for industrial applications in low lubricated cold forging processes”, Surface and Coatings Technology 84, pp506-511
- (9) H. Berns, A. Melander, D. Weichert, N. Asnafi, C. Broeckmann, A. Grob-Weege, 1998, “A new material for cold forging tools”, Computational Materials Science 11, pp166-180