

## 구름 베어링 부품의 소성가공

송복한·박창남

(FAG 한화베어링(주) 연구소)

### Plastic Forming of Rolling Bearing Steel Components

B. H. Song and C. N. Park

#### Abstract

Current state of plastic processes of steel bearing parts is surveyed. According to the advances in plastic forming technologies and their great advantage to mass production, plastic processes are adopted in manufacturing majority of bearing parts. The rings are forged or ring rolled and the rolling elements, i.e., balls or rollers are cold formed before fine machining. Bearing's steel retainers are mainly press formed using cold rolled steel strips. Including the general explanation about above processes, some details of forging technology, control of forging temperature and after cooling process, and examples of computer simulation are described.

**Key Words** : Forging, Ring Rolling, Cold Forming, Pressing,

#### 1. 서론

구름베어링은 거의 모든 분야의 회전기계에 적용되는 필수적인 기계요소로서, 회전하는 축을 지지하기 위한 구름 베어링의 구성은 Fig. 1 과 같이 일반적으로 두 개의 궤도륜과 전동체 그리고 궤도륜 사이에 전동체를 일정 간격으로 유지하기 위한 케이지(또는 리테이너라 함: cage or retainer)로 구성되어 있다. 이러한 구름 베어링이 폭 넓게 적용되고 산업 발전의 전반에 기여할 수 있었던 배경은 무엇보다 베어링 생산기술의 끊임 없는 진보에 따른 대량생산 체계 및 제조원가의 합리화가 이루어 졌기 때문이며, 특히 단조 등 소성가공 기술의 발전

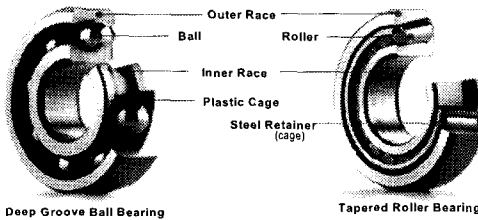
은 그 제조 원가의 저감에 매우 큰 기여를 하였다.

근래에 강(steel)으로 제조되는 대량 생산되는 구름 베어링 부품 제조는 Table 1 과 같은 공정으로 이루어져 있으며, 링(ring) 즉 내륜 및 외륜을 포함하여 전동체인 보울(또는 로울러)과 리테이너 및 밀봉 장치를 포함해 그 제조 공정에 열간 또는 냉간의 소성가공이 적용되고 있다. 이는 부품의 모양을 결정하는 방법으로 소성가공이 절삭가공 등에 비해 재료의 회수율이 높고 생산성과 원가 측면에서 매우 유리하기 때문일 것이다.

본고에서는 베어링을 구성하는 링(ring), 전동체 및 리테이너의 제조 및 조립 등에서 소성가공 기술의 적용 현황과 공정을 개관한다.

**Table 1 Manufacturing process of bearing component**

component	material form	process
ring	cylindrical tube	cutting and turning→heattreating→grinding
	round bar	cutting and forging→annealing→ring rolling→turning→heattreating→grinding
ball/roller	wire	cutting and cold forming
retainer	solid	machining
	sheet	pressing



**Fig. 1 Constructions of deep groove ball bearing and tapered roller bearing**

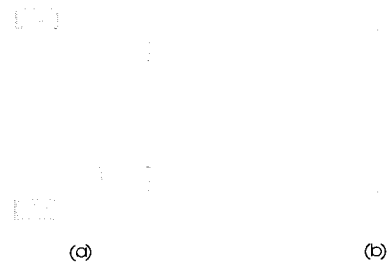
**2. 링의 가공**

베어링의 내륜 또는 외륜 등 링의 가공은 이전 단조 기계 및 기술이 발전하기 전에는 제강회사에서 열간 또는 냉간 압연으로 제조되고 어닐링(annealing)이나 노말라이징(normalizing)된 강관(cylindrical tube)을 사용하여, 선반으로 적당한 폭의 고리형태로 절단한 다음 내,외륜의 형상을 가공하는 방식을 취해왔다. 하지만 강관은 환봉(round bar) 재에 비해 가격이 동일 질량당 2 배 이상으로 매우 높을 뿐 아니라 Fig. 2 의 도시와 같이 특히 테이퍼 베어링 등의 가공 시는 절삭비가 높아 선삭 부하가 크며 원재 회수를 또한 매우 낮다는 단점이 있다.

강관 대신 환봉을 사용하여 열간 단조 공정을 적용하면 베어링 제조회사에서 단조링의 선삭(turning) 전 어닐링 등 전처리를 추가해야 하지만, 소재 가격이 훨씬 저렴하고 단조 링이 완성품의 형상에 매우 근접하기 때문에 절삭부하 감소와 함께 원재 회수율도 높아서 대량

생산에 매우 유리하다. 국내에서는 1987년경부터 베어링 링의 제조에 단조공정이 도입되었고, 현재는 단조가 곤란한 소량 다품종을 제외하면 대부분 환봉재를 사용한 단조방법이 적용되고 있다.

세계 베어링 시장에서 사용되는 강재의 점유율은 90% 이상이 KS STB2(1%Cr-1.5%Cr) 에 상당하는 고탄소 크롬 강이며, 그 나머지 대부분은 침탄강으로 KS SCr420H(0.2%Cr-1%Cr) 상당재이며, 고온 및 내식 등 일부 특수환경의 베어링에 내열강이나 스테인레스 강이 사용되고 있다. 고탄소 크롬강 및 침탄강으로 링의 열간 단조 시는 소재 종류에 따라 단조 가열온도나 단조 후 냉각 방법을 엄격히 관리할 필요가 있다.



**Fig. 2 Near net cross-section of outer and inner rings of tapered roller bearing superimposed on the sections of rings cut from tubes(a) and forged ring(b); hatched area corresponds to turning stock**

일반적으로 단조 온도가 낮을수록 소성변형에 대한 저항은 증가되지만, 사용되는 강재의 탄소함량이 높을수록 단조온도를 낮추어야 한다.<sup>(1)</sup> 이는 잘 알려진 Fe-C 상태에서 불 수 있듯 탄소함량이 증가될수록 액상이 출현하는 온도 즉 고상선이 내려가기 때문이다. 고탄소 크롬강의 경우는 과열에 의한 단조 터짐 등을 방지하기 위하여 가열온도를 1180℃ 이하로 제한하고 있으며, 그 이상의 온도에서는 오스테나이트 입계에 초기 액상의 출현으로 Fig. 3 과 같이 터짐이 발생할 수 있다. 또한 고탄소 크롬강 등 과공석 강의 열간 단조 후에 냉각속도가 불충분하면 Fig. 4-(d) 와 같이 오스테나이트 입계를 따라 초석 세멘타이트(pro-eutectoid centite)가 석출되기 때문에 700℃ 이하까지는 송풍냉각 등으로 충분히 급냉시킬 필요가 있다.

한편 침탄강재의 경우는 탄소함량이 낮기 때문에 고탄소 강 보다는 높은 온도에서 단조가 가능하다. 침탄강 단

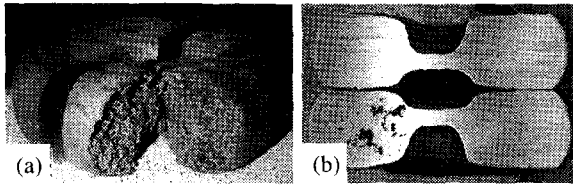


Fig. 3 Exterior(a) and interior(b) cracking of hot forged bearing steel owing to overheating at 1220

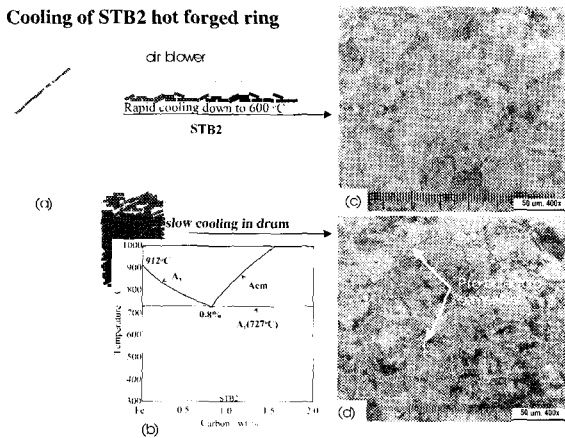


Fig. 4 Cooling methods of STB2 hot forged rings (a), apart of Fe-C phase diagram (b), and microstructures (c),(d) according to cooling methods in (a)

조링은 침탄 열처리 시 900°C 이상의 고온에서 장시간 가열되기 때문에 오스테나이트 결정립 성장을 억제하기 위한 단조 대책이 요구된다. 열처리 시 결정립 성장 억제를 위해서는 베어링용 강을 비롯하여 대부분의 강에서 고온 입계(grain boundary) 이동을 저지하는 AlN(알루미늄 질화물)을 미세 석출 분산 시키고 있다.<sup>(2)</sup> 열처리 가열단계에서 AlN 미세 석출물의 균일한 분산을 위해서는 열처리 전 소재의 Al 및 N 성분을 충분히 용체화 해야한다.<sup>(3)</sup> 따라서 침탄강의 단조 가열온도는 1220°C 이상으로 충분히 높일 필요가 있으며, 1230~1250°C 범위가 일반적이다.

단조링의 침탄시 결정립 성장 억제제를 위해서는 단조 가열온도에서 AlN의 용체화 뿐 아니라 단조 후 소재의 현미경 조직을 페라이트와 퍼얼라이트(ferrite+peralite)의 소위 노말(normal) 조직으로 유지하여야 한다. 베어링용 침탄 강재로 널리 사용되는 SCr420H 및 그 상당강재는 망간(Mn) 및 크롬(Cr)의 경화능 증대원소를 상당

량 포함하기 때문에 질량이 비교적 작은 베어링의 단조링을 공냉하게 되면 베이나이트(bainite) 조직이 얻어진다. 베이나이트 조직은 경도가 높기 때문에 이후 선삭을 어렵게 할 뿐 아니라 침탄 시 결정립 조대화를 야기하며<sup>(4)</sup>, 따라서 침탄강 열간 단조링은 단조 후 600~650°C 정도의 로(furnace)를 통과시켜 페라이트, 퍼얼라이트 변태를 완료시키든지 공냉된 링을 노말라이징(normalizing)하여 그 조직을 조절한다. Fig. 5에 단조온도나 냉각과정의 부적절한 조절에 따른 침탄강재 결정립 조대화 결과를 정상 입자 분포와 함께 비교하였다.

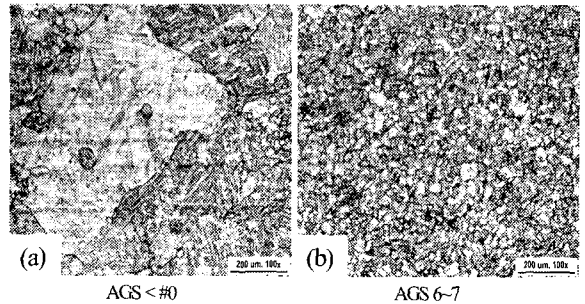


Fig. 5 Coarsened grains (a) owing to improper forging temperature or cooling method and normal grains(b)

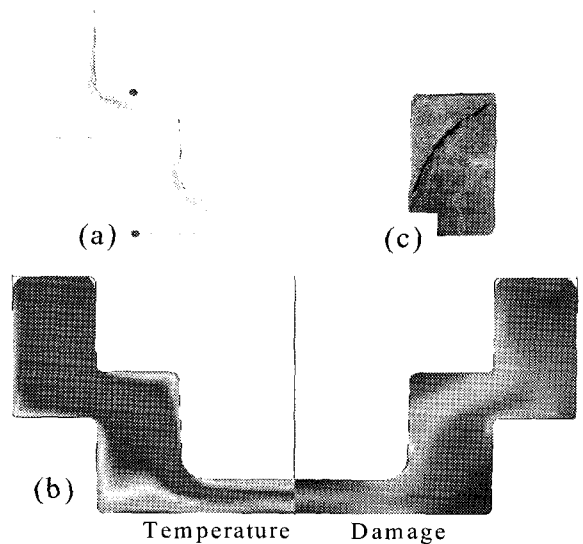


Fig. 6 Computer simulations of plastic flow (a) and temperature distribution and damage analysis (b) of hot forging. Investigation of real work section (c) shows damage accords with simulation results

최근 컴퓨터를 이용한 단조 해석 기법의 발전으로 열, 탄소성 해석 및 단류선(plastic flow or metal flow) 형태 등에 대한 시뮬레이션이 가능해졌다. 이러한 기법의 도입으로 베어링의 단조 급형, 가공 온도와 압력 등 단조 설계 및 공정 개선에 있어 종전의 시행착오를 크게 줄일 수 있게 되었다. Fig. 6 및 Fig. 7 은 각각 열간에서 베어링 내,외륜의 동시 단조와 대형 베어링 링의 링 롤링(ring rolling) 공정에 있어 실패 요인에 대한 컴퓨터 해석의 실시 예이다.

베어링에서 구름접촉 소재 내부의 단류선은 접촉면에 평행할수록 피로 수명에 유리한 것으로 알려져 있다.<sup>15)</sup> 컴퓨터 해석 기법은 이러한 소성유선의 개선을 위한 초기 공정 설계나 공정 변수의 수정을 위해 매우 유용한 도구로 이용되고 있다.

### 3. 강구의 가공

강구는 적당한 지름으로 선선(wire drawing)된 코일 형태로 감긴 선재(wire)를 절단(shearing) 하고 초경의 급형으로 냉간 성형 후 열처리 전 생연(soft grinding) 하여 구 모양을 가공한다. Fig. 8 에 베어링 용 강구의 성형방법을 도시하였다.

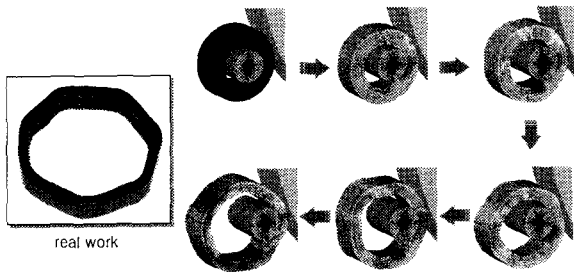


Fig. 7 Fail analysis of ring-rolled large size bearing ring by time dependent 3D finite element method with computer simulation. Improper combination of process variable, roll feed rate, and rotation speed dose not make circle ring

Fig. 9 는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 강구 성형품의 소성유선과 변형 량 및 변형 속도와 결합 발생 여부를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻은 결과의 예이다. 강구의 냉간 성형 공정에서도 단조급형의 설계 및 고장분석에 컴퓨터 해석 기법이 활용되고 있다.

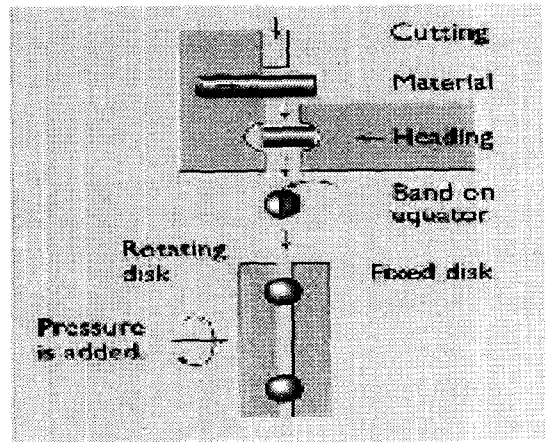


Fig. 8 Schematic forming process of steel balls

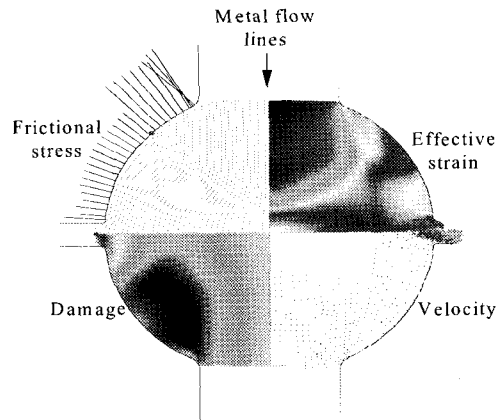


Fig. 9 Example of computer simulation result of strain rate, effective strain, and damage after cold forming of ball

### 4. 베어링 리테이너 제작 및 조립에서의 소성가공 이용

근래 엔지니어링 플라스틱의 발전으로 금속체의 리테이너 대신 사출 성형된 플라스틱 케이의 적용이 증가하고 있으나 아직은 금속체 리테이너로서 압연 강판을 사용한 프레스 성형 리테이너가 대부분을 이룬다.

냉간 소성가공 공정은 또한 자동차 휠 베어링 등의 조립공정 등에도 적용되고 있다. Fig. 10 은 신세대 자동차 휠 베어링 조립 방법의 예시로, 허브(hub)에 내륜의 고정 및 예압을 가하기 위한 orbital forming (swaging) 방법의 개념을 보인다.

## 5. 결 론

소성가공은 벌크(bulk) 재의 절삭가공 등에 비해 생산성 및 원가 면에서 월등한 장점이 있기 때문에 베어링 구성품 거의 모두의 제작공정에 적용되고 있다. 최근 열, 탄소성 거동 및 변형에 대한 컴퓨터 해석 기법이 더욱 발전되고 성형 기술이 정밀해 짐에 따라 베어링과 같은 정밀 기계 요소의 제조에 소성가공의 활용이 더욱 넓어질 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- (1) 美農利雄, 鍛造技術講座, 1981, 東神堂(東京), p. 135.
- (2) D.A. Poter and K.E. Easterling(金東勳 譯), 1990, 金屬相變態, 半島出版社(서울), p. 169.
- (3) 송복한, 2000, FAG한화베어링(주) 연구보고서 RD-M 0006-19B1.
- (4) 송복한, 1994, FAG한화베어링(주) 연구보고서 RD-M-9403-23B1.
- (5) 對馬全之, 1984, 日本金屬學會報 23卷 1號, p. 50.

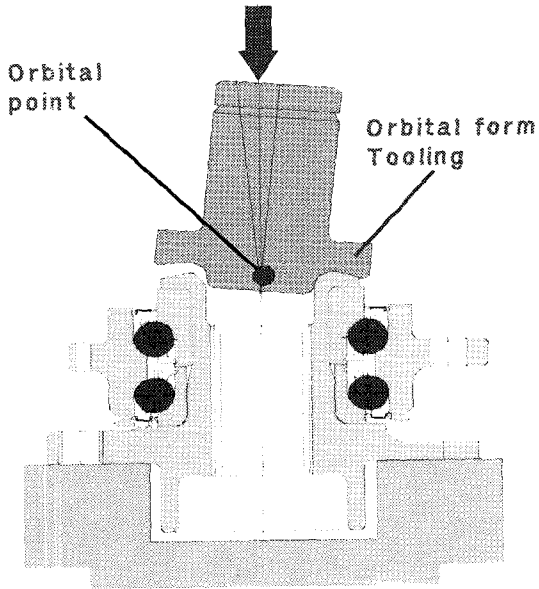


Fig. 10 Schematic orbital forming process for assembling of wheel bearing