

베벨기어 제조 공정에서 베벨기어의 정도 및 급수에 미치는 인자

전병윤¹· 엄재근²· 박정휘¹· 전만수[#]

Factors affecting accuracy or grade of bevel gears during manufacturing

B. Y. Jun, J. G. Eom, J. H. Park, M. S. Joun

Abstract

In this paper, factors affecting accuracy or grade of forged bevel gears are investigated in the experimental way. Two materials of SKD-11 and copper, two machining conditions and two machines of WIA-V50 and Roders-RFM600 are particularly investigated to reveal their effects on the grade of bevel gear forging dies in this study. It has been shown that the bevel gear grades are much affected by all the factors tested, revealing that it is of great significance to find the optimal machining process of die making to develop or manufacture a high precision bevel gear and that the bevel gear is degraded by one from the grade of its related die during forging.

Keywords : Bevel gear, Forging, Accuracy or grade, Die making

1. 서론

단조산업은 한 국가의 산업 발전을 좌우하는 중요한 기간산업이다. 특히 대량 생산을 업의 특성으로 하는 자동차산업과 전자산업 등에서 단조는 가격과 품질을 동시에 만족시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 많은 주목을 끌어 왔다. 우리나라의 경우, 자동차산업과 전자산업의 급성장으로 단조가 양과 질 양면에서 큰 발전을 이룩하였다.

그러나 아직 선진국과는 여전히 수년 또는 10년 이상의 격차를 보이고 있는 분야, 가령 단조장비와 정밀금형 등의 분야가 존재하며, 젊고 유능한 인력의 확보가 매우 어렵고, 산업적인 관점에서 볼 때 질적으로 국제적인 수준에 이르지 못한 상태에서 사향산업의 전조가 나타나고 있으며, 산업 현장에서 중국의 추격이 가시권에 온 것으로

느끼고 있는 점 등이 위기의 징표가 되고 있는 것이 작금의 현실이다.

베벨기어 냉간단조[1-8]는 1970년경에 시작되었으며, 우리나라는 1990년경에 시작한 것으로 추정되고 있다. 이 기술은 이미 국내에서 십 수년간 활용되어 왔지만, 아직 선진업체에 요소기술을 의존하고 있는 실정이다. 우리나라에서 승용차용 베벨기어는 대부분 절삭가공되고 있는 반면, 일본에서는 단조로 생산되고 있다. 국내에서 생산중인 일부의 승용차용 베벨기어도 금형 등의 요소기술을 대부분 해외의 선진업체에 의존하고 있는 실정이다.

단조로 생산된 베벨기어의 정도에 영향을 주는 인자로는 금형, 설비, 열처리, 운할, 원재료 등이 있다. 이중에서도 가장 크게 영향을 미치는 인자로는 금형으로서, 본 연구에서는 금형의 정도에

1. 경상대학교 대학원 기계공학과
2. (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터
교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

영향을 미치는 인자를 연구하고자 한다. 주 요인으로는 금형 재료, 보강링, 열처리, 금형 제작 방법 등을 들 수 있으며, 금형 제작 방법으로는 방전가공과 직접가공 두 가지 방법이 있다. 방전가공의 경우 전극을 제작하여 가공하는 방법으로 초경 금형의 경우에 주로 이용되었으며, 합금강의 경우에는 종래에는 상기 방식을 해왔으나 설비의 발달로 인하여 직접가공하는 방식을 채택하고 있다. 기어의 급수를 판정하는 기준은 인접피치오차, 단일피치오차, 누적피치오차 등이 있으며, 각 수치에 대한 등급은 등급표[9]에 나타나 있다. 본 연구에서는 합금강의 금형에 대해서 금형가공조건과 정도의 변화 등에 대해서 논하고자 한다.

2. 베벨기어 금형 가공을 위한 실험조건

베벨기어 급수에 금형이 미치는 영향을 분석하기 위해서는 베벨기어 금형의 측정이 필수적이다. 그러나 오목한 부위, 크기 및 중량 등의 문제로 금형을 직접 측정하기는 쉽지 않다. 이런 이유로 베벨기어 금형의 가공조건과 동일한 조건하에서 시험베벨기어(Trial gear)를 제작하여 베벨기어의 정도를 측정하여 평가하는 방법이 널리 활용되고 있다. 본 연구에서도 이 방법을 사용한다.

실험에 사용된 베벨기어는 모듈이 3이고, 피치원지름이 45 mm이며, 잇수가 15개이다.

베벨기어의 정도에 미치는 영향을 밝히기 위하여 본 연구에서는 금형가공장비, 가공조건, 재료 등의 영향을 실험적으로 규명하고자 한다.

사용된 금형가공장비는 고속가공기이며 (사)경상대 TIC의 보유장비인 WIA-V50[10]과 Roders-RFM600[10]이다. 재료로는 베벨기어의 단조금형 소재로 많이 사용되는 SKD-11과 베벨기어 단조금형의 방전가공을 위한 전극으로 널리 사용되는 동을 비교하였다. 그리고 2가지의 고속가공조건을 선택하여 가공조건이 금형의 정도에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. Table 1에 정리되어 있는 가공조건1에서는 주축회전수가 황삭 7200 rpm, 중삭 11000 rpm, 정삭 12000 rpm이며, 절입량은 0.05 ~ 0.2mm이다. 가공방식은 상향절삭이다. Table 2에 요약되어 있는 가공조건2에서는 주축회전수는 황삭 7500 rpm, 중삭 12000 rpm, 정삭 12500 rpm이며, 절입량은 0.04 ~ 0.15 mm이다. 가공방식은 황삭과 중삭에서는 상향절삭이며, 정삭에서는 하향절삭 후 상향절삭이다.

Table 1 Machining condition 1

	Condition 1		
	Rough grinding	Medium grinding	Final grinding
Tool dia.	Ø5	Ø3	Ø2
RPM	7200	11000	12000
Cutting velocity	600	700	800
Cutting direction	Conventional	Conventional	Conventional
Incremental	0.2	0.1	0.05

Table 2 Machining condition 2

	Condition 2		
	Rough grinding	Medium grinding	Final grinding
Tool dia.	Ø5	Ø3	Ø2
RPM	7500	12000	12500
Cutting velocity	500	750	750
Cutting direction	Conventional	Conventional	Conventional after climb
Incremental	0.15	0.1	0.04

3. 베벨기어 금형 가공

Fig. 1은 SKD-11의 소재를 가공조건1로 WIA-V50의 고속가공기를 이용하여 가공한 시험베벨기어이다. Fig. 2는 SKD-11의 소재를 가공조건1로 Roders-RFM600의 고속가공기를 이용하여 가공한 시험베벨기어이다. 그리고 그림 3은 SKD-11의 소재를 가공조건2로 Roder-RFM600의 고속가공기를 이용하여 가공한 시험베벨기어이다.

베벨기어의 급수 판정을 위하여 Fig. 4의 CLP-35의 베벨기어 시험기를 사용하였다. Fig. 1과 Fig. 2의 시험베벨기어는 JIS 3급으로 판정되었으며, Fig. 3의 시험베벨기어는 JIS 2급으로 판정되었다. 시험베벨기어에 대한 상세한 측정결과는 제4장의 측정결과표에서 확인할 수 있다.

진술한 조건으로 금형을 제작하여 시제품 제작을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 시제품 제작은 (사)경상대 TIC에 보유 중인 정밀냉간단조공정시험평가시스템을 이용하여 실시되었다.

Fig. 5는 금형에 대응하는 시험베벨기어의 등급이 JIS 3급으로 판정된 금형으로 시험생산된 제품이며, Fig. 6은 JIS2급으로 판정된 금형으로 시험생산된 제품이다. 제품에 대한 베벨기어 급수는 각각 JIS 4급과 JSI 3급으로 판정되었다. 따라서 단조 과정에서 급수가 1급 강등되었음을 알 수 있다.

고속가공에 의한 직접 금형제작 방법 이외에 방전가공 방법이 있다. 방전가공으로 금형을 제작하기 위해서는 전극을 가공하여야 한다. 전극의 재료로는 대개 동이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 피가공 재료에 따른 금형 가공 정도를 분석하기 위하여 가공조건1로 동 전극을 제작하였다. 전극의 재료는 동이며, Fig. 7의 전극을 만들 수 있었다. 이를 측정된 결과, 전극의 급수는 4급으로 판정되었다. 이 결과는 SDK-11에 비하여 1급 강등한 것으로 피삭재의 재질과 고속가공기의 절삭조건이 긴밀한 관계가 있음을 의미하는 것이다.

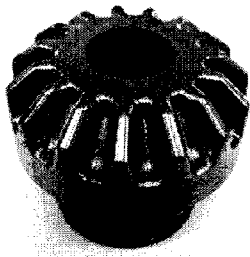


Fig. 1 Trial gear 1, machined by WIA-V50 under the machining condition 1

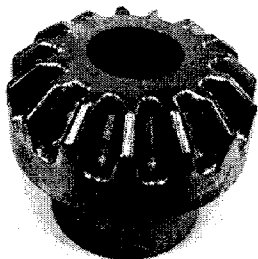


Fig. 2 Trial gear 2, machined by Roders-RFM600 under the machining condition 1

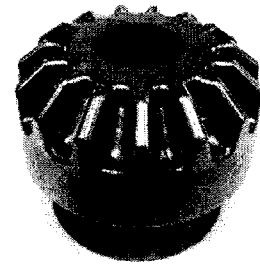


Fig. 3 Trial gear 3, machined by Roders-RFM600 under the machining condition 2

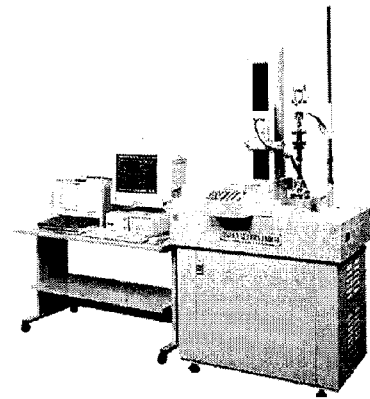


Fig. 4 Bevel gear measurement machine(Osaka Seimitsu Kiko, CLP-35)

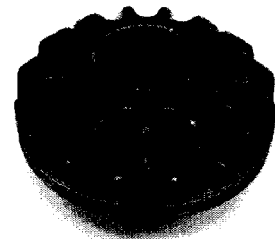


Fig. 5 Bevel gear forged with the JIS 3 grade die (Product 1)

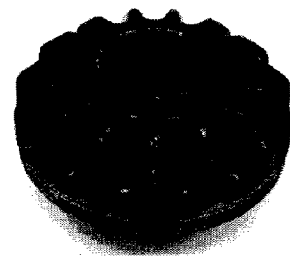


Fig. 6 Bevel gear forged with the JIS 2 grade die (Product 2)

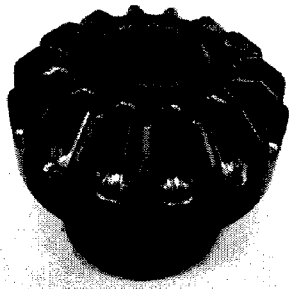


Fig. 7 Copper bevel gear machined by WIA-V50 under the machining condition 1(Copper electrode)

3. 베벨기어 정도 측정 결과

시험베벨기어, 방전전극용 구리베벨기어, 단조 베벨기어에 대하여 Fig. 4의 베벨기어 측정기를 사용하여 베벨기어 급수 판정을 위한 측정을 실시하였다. 베벨기어 급수의 판정 기준인 인접피치오차, 단일피치오차, 누적피치오차에 대한 측정 결과를 각각 Table 3, Table 4, Table 5에 나타내었다. 테이블에 제시된 베벨기어의 등급은 전술한 세 가지의 피치오차에 대한 실측치를 바탕으로 베벨기어 표준등급표[9]에 기준하여 결정된 세부 등급이다. 그리고 Table 6에 세 항목에 대한 JIS 등급을 표시하였다.

Table 3 Measured adjacent pitch errors and grades

		Adjacent pitch error	
		L	R
Trial gear 1	Measured	26.5	15.4
	Grade	3	2
Trial gear 2	Measured	15.9	11.2
	Grade	2	2
Trial gear 3	Measured	11.3	14.8
	Grade	2	2
Copper electrode	Measured	27.3	19.8
	Grade	3	3
Product 1	Measured	48.5	50.3
	Grade	4	4
Product 2	Measured	21.5	19.2
	Grade	3	3

Table 4 Measured single pitch errors and grades

		Single pitch error	
		L	R
Trial gear 1	Measured	24.9	9.9
	Grade	3	2
Trial gear 2	Measured	16.0	8.6
	Grade	3	2
Trial gear 3	Measured	13.7	16.2
	Grade	2	2
Copper electrode	Measured	34.0	36.3
	Grade	3	4
Product 1	Measured	27.2	45.3
	Grade	3	4
Product 2	Measured	15.8	24.7
	Grade	2	3

Table 5 Measured accumulative pitch errors and grades

		Accumulative pitch error	
		L	R
Trial gear 1	Measured	58.4	57.8
	Grade	2	2
Trial gear 2	Measured	58.6	58.2
	Grade	2	2
Trial gear 3	Measured	55.8	54.2
	Grade	2	2
Copper electrode	Measured	150.8	147.2
	Grade	4	4
Product 1	Measured	175.8	180.2
	Grade	4	4
Product 2	Measured	104.2	105.8
	Grade	3	3

Table 6 JIS grades of the

	JIS grade
Trial gear 1	3
Trial gear 2	3
Trial gear 3	2
Copper electrode	4
Product 1	4
Product 2	3

4. 결 론

본 연구에서는 단조베벨기어의 정도 또는 급수에 미치는 가공조건, 가공장비, 피가공재료 등의 영향을 실험적으로 분석하였다.

실험에 사용된 가공조건에 따라 금형의 정도는 1급 정도 영향을 받았으며, 동일 가공조건 하에서 금형강과 구리는 1급 정도의 급수 차이를 나타내었다. 그리고 최종단조품은 금형보다 1급 떨어진 품질을 나타내었다.

결론적으로 고정도의 단조베벨기어를 생산하기 위해서는 그 이상의 정도를 지닌 금형이 만들어져야 한다. 그러기 위해서는 공구, 설비, 절삭조건 등을 바꾸어서 최적의 조건을 찾는 연구가 지속되어야 할 것이다. 물론 금형의 탄성변형을 고려한 설계기술에 관한 체계적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 [RTI04-01-03] 지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

[1] 박종진, 이정환, 이영선, 1996, 베벨기어 폐쇄단조의 유한요소해석, 대한기계학회 논문집 A권, 제20권, 제8호, pp. 2458~2467.

- [2] 김동환, 정구섭, 김병민, 2004, 자동차용 차동 베벨기어의 최적 예비성형체 설계, 한국자동차 공학회논문집, 제12권, 제1호, pp. 184~189.
- [3] 김용조, 박성대, 2003, 베벨기어의 밀폐단조 공정설계를 위한 유한요소해석, 한국기계가공학 회지, 제2권, 제1호, pp. 92~99.
- [4] Y. K. Lee, S. R. Lee, C. H. Lee, D. Y. Yang, 2001, Process modification of bevel gear forging using three-dimension finite element analysis, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 113, No. 1-3, pp. 59~63.
- [5] A. G. Mamalis, D. E. Manolacos, A. K. Baldoukas, 1996, Simulation of the precision forging of bevel gears using implicit and explicit FE technique, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 57, No. 1-2, pp. 164~171.
- [6] M. Fu, B. Shang, 1995, Stress analysis of the precision forging die for a bevel gear and its optimal design using the boundary-element method, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 53, No. 3-4, pp. 511~520.
- [7] M. Meidert, M. Knoerr, K. Westphal, T. Altan, 1992, Numerical and physical modelling of cold forging of bevel gears, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 33, No. 1-2, 75~93.
- [8] J. H. Yoon, D. Y. Yang, 1990, A three-dimensional rigid-plastic finite element analysis of bevel gear forging by using a remeshing technique, Int. J. Mech. Sci., Vol. 32, No. 4, pp. 277~291.
- [9] 기어편람해설, 기전연구소, ISBN 89-336-0163-5, 1975.
- [10] www.tic.or.kr