

소성가공에서의 PC의 이용

최 재 찬
부산대학교 기계설계학과 교수



● 1939년생
● 소성역학, 소성가공분야, 특히 냉간성형 및 판재성형에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

소성가공은 소재의 질량이나 성분의 변화가 없이, 소재에 물리적인 힘을 가하여 변형시켜, 목적하는 형상으로 성형하는 가공방법으로서, 절삭가공과 비교하여 재료의 손실이 적고, 기계적 성질이 개선되며, 또한 생산속도가 빠르기 때문에 생산성이 높다.

따라서 일반 산업기계, 수공구, 구조물의 부품, 자동차산업, 전자산업 및 항공기부품 등에서 대량생산에 널리 이용되고 있다.

소성가공의 종류에는 그림 1에서 보는 바와 같이 유효응력의 상태에 따라, 압축성형, 복합인장 및 압축성형, 인장성형, 굽힘성형, 전단성형 등으로 나눌 수 있으며, 성형할 때의 재결정온도에 따라서는 열간가공, 온간가공, 냉간가공 등으로 나눌 수 있다. 또한 피 가공재의 형상에 따라서 그림 2에서 보는바와 같이 입체가공(bulk or massive metal forming)과 판재가공(sheet metal forming)등으로 나눌 수 있다⁽¹⁾.

소성가공은 일반적으로 소재의 대부분이 변형하므로, 변형에 요하는 하중 및 응력이 매우 높기 때문에 성공적으로 소성가공을 수행하기 위해서는 소재의 기계적성질, 소재와 금형 사이의 마찰조건, 가공속도, 온도 및 금형의 구조와 형상등의 공정변수들을 적절히 조합하여

수행하지 않으면 안된다. 오늘날 산업계가 직면하고 있는 생산의 다양화, 생산의 합리화, 생산의 효율화, 전문인력의 부족 등에 능동적으로 대처하기 위해서는 생산의 자동화는 필연적이며, 따라서 컴퓨터의 이용은 필수적이다. 기계공업분야에서 생산의 자동화는 실제의 자동화(CAD), 제조의 자동화(CAM)와 더불어 설계와 제조를 연결시키는 역할을 하는 공정계획의 자동화(CAPP)가 총합적인 관점에서 최적화된 컴퓨터 총합생산시스템(CIMS)의 실현이다.

이를 위해서 독립적으로 혹은 총합적으로 많은 연구가 진행되어 왔으며, 상당한 부분에서는 실용화되고 있다. 이러한 생산의 자동화에 대한 연구는 주로 절삭가공에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔는데, 이는 소성가공에서는 필요하지 않았다고 보다는 너무 어려워 주로 경험에 의존하였기 때문이다.

오늘날의 제조산업은 점차적으로 절삭가공에서 소성가공으로 바뀌어지고 있는 추세에 있으며, 소성가공 분야에서도 생산준비기간의 단축, 고정밀도의 중·소량 생산을 원하는 경향이 현저함에 따라서 컴퓨터를 이용한 기술의 이용이 추진되고 있다.

본 글에서는 시스템의 개발동향과 퍼스널컴퓨터에 의해 설계된 소성가공용 시스템 및 그 밖에 소성가공에서 퍼스널컴퓨터가 현장에서 어떻게 응용되는지에 관하여 소개하는 것으로

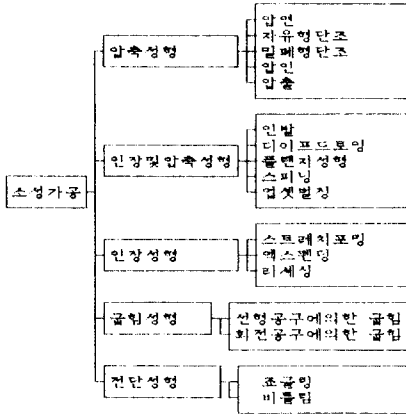


그림 1 금속성형방법의 분류

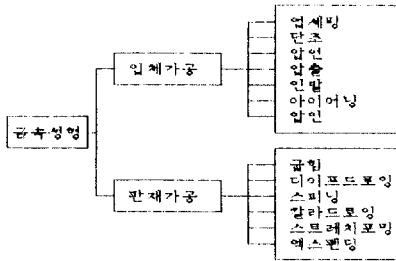


그림 2 벽두께에 따른 금속성형방법의 분류

하였다.

2. 시스템의 開發動向

전산화된 자동공정계획의 선구적인 작업은 1960년대 중반 미국에서 처음으로 Niebel⁽²⁾에 의하여 수행되었는데, 이는 절삭가공에서 주 공정선정에 대하여 컴퓨터화 하였다.

그 후 많은 공정계획 시스템이 보고되어 왔는데, AUTOPROS, CAM-1, CAPP⁽³⁾ 등은 변성형 방법으로, GENPLAN⁽⁴⁾, CORE-CAPP 등은 준창성형 방법으로, APPAS⁽⁵⁾, DCLASS 등은 창성형 방법으로 개발된 예이며, 주로 절삭가공에 관한 시스템이다.

소성가공에 대한 자동공정설계 시스템으로서 Gokler⁽⁶⁾는 열간 압제단조에 대한 공정순서

및 다이설계 프로그램을 개발하였으며, Robholz⁽⁷⁾는 단순형상에 대한 냉간단조 공정설계 프로그램을 개발하였다. Knight⁽⁸⁾ 등은 GT기법에 의하여 단조품을 분류하여 공정계획을 수행하였으며, Bariani⁽⁹⁻¹⁰⁾ 등도 대화식 프로그램을 개발하였고, 바텔연구소에서는 단조의 성형계획에 대한 컴퓨터를 이용한 설계를 도입하여 밀폐 형단조의 Blocher에 적용하였다. 또한, Badawy, Altan 등의 FORMNG⁽¹¹⁾ 시스템은 다단성형기를 사용할 경우 주어진 특성의 소재에 대한 냉간단조 공정의 순서를 자동창출하였고, Perotti⁽¹²⁾ 등은 디프드로잉에 대하여 퍼스널컴퓨터를 이용하여 공정설계 프로그램을 개발하였다.

자동금형설계 시스템으로는 高橋正一⁽¹³⁾, 鈴木秀志⁽¹⁴⁾ 등은 자동차 電裝品 중 시동기의 주요 부품인 피니언의 공정설계 및 금형설계 시스템을 MALCOM 컴퓨터로 개발한 것이 있다.

최근에는 인공지능의 개념을 기초로 한 자동공정설계 시스템의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

지식베이스 기법과 인공지능에 기초한 계획기법은 공정설계 및 금형설계의 자동화에 아주 적합한 것으로 알려졌다.

이러한 인공지능을 이용한 전문가 시스템으로서 절삭가공에서는 GARI 등이 있으며, Eshel에 의하여 개발된 AGFPO⁽¹⁵⁾ 시스템은 축대칭 회전형상에 대한 디프드로잉의 열처리 작업과 기계가공과 같은 중간보조작업을 시스템에 구체화 하였으며, 소성가공용 전문가 시스템으로는 최초로 등장한 것이다. 냉간단조용 전문가 시스템은 Altan의 FORMAX, AFD 외에 Osakada, Bariani, Hartler, 平井恒夫⁽¹⁶⁾ 등의 시스템이 있다.

본 연구실에서도 소성가공용 자동 공정계획 및 금형설계 시스템을 개발하였는데, 냉간단조에 관하여는, "Cold-Forming"의 공정설계 시스템^(17,18,20)과 "Design-Die"의 금형설계 시스템 등이 있으며, 디프드로잉에 관하여는 "Deep-Drawing"의 공정설계 시스템⁽¹⁹⁾과 "Deep-Die"

의 금형설계 시스템이 있다. 그러면 본 연구실에서 개발한 시스템을 중심으로 퍼스널컴퓨터에 의한 자동공정계획 시스템과 금형설계 시스템의 적용 예를 알아본다.

3. 소성가공에서 PC의 적용예

3.1 공정설계 및 금형설계의 자동화

본 글에서 적용할 공정설계 및 금형설계 시스템은 실험실에서 행한 실험, 소성역학이론, 각종 참고문헌, 관련서적 및 생산현장의 경험적 지식을 추출하여 일반성이 있고, 모순이 없는 사항에 대하여 지식베이스로 종합한 후 순차적으로 나열된 규칙에 따라 계층적으로 프로그래밍하여 자동공정계획 및 금형설계를 수행하는 시스템으로 개발하였다.

관재의 디프드로잉 공정의 자동공정설계 시스템인 "Deep-Drawing"을 적용하면 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형 컵과 플랜지와 테이퍼가 있는 사각통 컵에 대한 공정설계의 결과를 출력시킬 수가 있다.

그림 3~6은 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형 컵의 적용예로서 그림 3은 최종제품에 대한 입력사항 및 입력결과이며, 재질은 AISI-1006 강이다. 그림 4는 그림 3의 입력결과에 대한 소재로부터 최종제품까지의 공정순서 및 각 공정의 실행시 요구되는 중간단계 컵의 치수, 소재의 내응력, 블랭크 홀더력, 펀치하중, 다이 반경, 초드로잉률과 재드로잉률을 나타낸다.

/// 2.drawing cup size dimension input ///

- 1) flangeless no-taper cylindrical cup
- diameter (D)=? 80
- height (H)=? 250
- thickness (T)=? 1
- bottom radius (RB)=? 5
- material (AISI)=? 1006

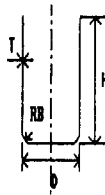


그림 3 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형 컵의 입력결과

여기서 중간단계의 컵의 직경, 높이 펀치 반경, 다이 반경, 블랭크 홀더력의 유무등은 금형설계의 입력사항으로 사용된다.

그림 5는 그림 3의 입력사항과 동일한 경우에서 10mm의 트리밍여유를 고려한 경우에 대한 소재로부터 최종제품까지의 공정순서 및 중간단계 컵의 치수 등을 나타낸다.

그림 6은 그림 3에 대하여 트리밍 여유가 없고, 소재재질이 AISI-1035로 변경한 경우의 공정설계의 적용예이다.

관재의 디프 드로잉용 금형설계 프로그램인 "Deep-Die"는 중소형컵 형상에 대하여 15가지 금형의 기본구조 선택의 자동화와 이중에 널리 쓰이는 초드로잉과 재드로잉의 노크아웃형식에

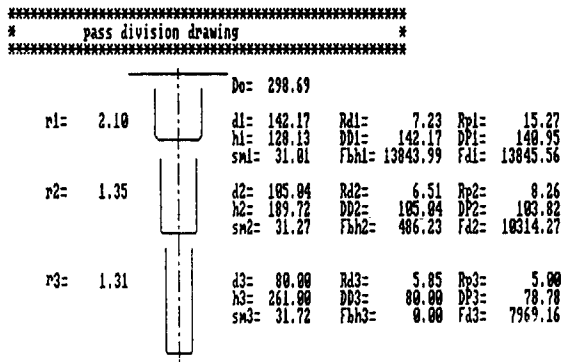


그림 4 트리밍여유가 없는 원통형 컵의 출력결과

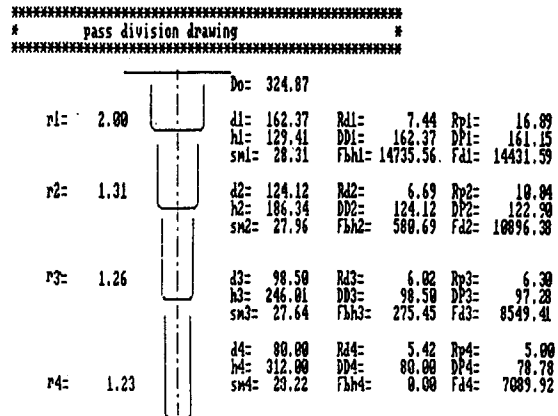


그림 5 트리밍여유가 있는 원통형 컵의 출력결과

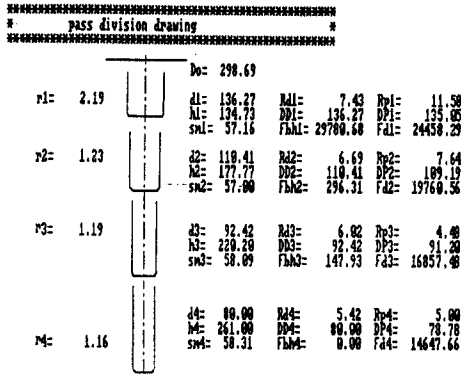


그림 6 원통형 컵의 출력결과

[MAKE INPUT DATA FILE]

DB	d1	H1	TD	Bd1	RC1	LD
228.6	116.12	29.43	1	5.74	10	1.2

```

I INPUT I
DB(Blank Dia.) = ? 228.6      Rd(Die Radius) = ? 5.74
d1(Product Dia.) = ? 116.12  Rc(Bottom Radius) = ? 10
H1(Product Height) = ? 29.43  LD(Clearance) = ? 1.2
TB(Blank Thickness) = ? 1
MATERIAL LIST
1) Drawing quality aluminum and copper alloys
2) Drawing quality steel
3) Series 300 stainless steel
SELECT METAL TO BE DRAWN : 2
TOTAL QUANTITY OF PARTS TO BE DRAWN : 50000
    
```

그림 7 초드로잉용 프레스금형의 입력결과

대하여 각각 16가지 부품의 자동금형설계 프로그램이다.

초드로잉용 프레스금형의 기본구조에 대한 입력사항, 조립도 및 각 부품의 재질표는 그림 7, 그림 8, 그림 9와 같고 그림 10에 다이 및 펀치 등의 금형요소에 대한 설계의 일례를 보인다.

축대칭 다단제품의 냉간단조공정설계 프로그램인 "Cold-Forming"을 적용하면 그림 11은 국내의 냉간단조회사에서 생산되는 제품의 성형순서를 나타낸 것이며, 이 제품에 대한 프로그램의 적용예가 그림 12와 그림 13이다.

그림 12는 최종제품의 기하학적 형상을 체적요소를 사용하여 입력한 결과와 재질의 입력결과를 나타낸다.

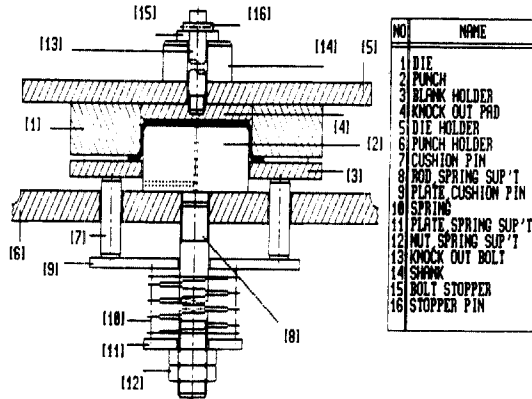


그림 8 초드로잉용 프레스금형의 조립도

NO.	NAME	MATERIAL	AMOUNT
1	DIE	SXS3,SKD12	1
2	PUNCH	SK- (2)	1
3	BLANK HOLDER	SK-,SXS3	1
4	KNOCK OUT PAD	SK 3	1
5	DIE HOLDER	FC20,S20C	1
6	PUNCH HOLDER	FC20,S20C	1
7	CUSHION PIN	SK 5	3
8	ROD, SPRING SUP'T	SXS 3	1
9	PLATE, CUSHION PIN	SK 3	1
10	SPRING	SMP,SUP4	1
11	PLATE, SPRING SUP'T	SK 3	1
12	NUT, SPRING SUP'T	S45C	2
13	KNOCK OUT BOLT	S45C	1
14	SHANK	S20C	1
15	BOLT STOPPER	SXS 3	1
16	STOPPER PIN	SXS 3	1
17	DOWEL PIN	SXS 3	2
18	DOWEL PIN	SXS 3	2

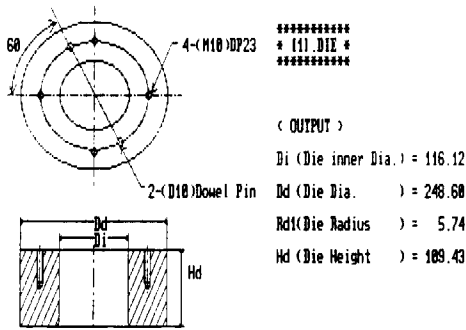
* BILL OF MATERIAL *

(2)SK-;SXS41 carburized

그림 9 프레스금형의 사용재료

그림 13(a)는 주어진 소재직경에 의해서 최종제품을 생산하기 위한 순서를 나타내며 그림 12와 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림 13(b)는 중간공정에서의 상세치수를 나타내며, 그림 13(c)는 결정된 성형순서에 따른 공정번호의 계산결과로서 각각의 작업에 대



[PRACTICAL GRAPHIC]

[PRESS ANY KEY FOR NEXT STEP]

그림 10(a) 다이의 출력결과

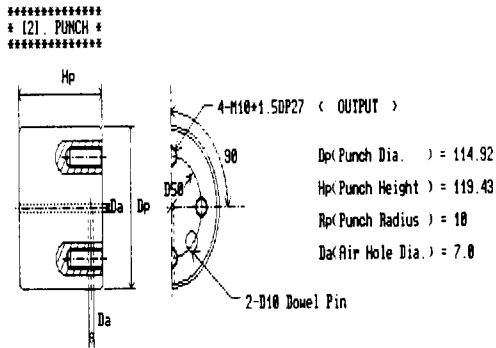


그림 10(b) 펀치의 출력결과

[GEOMETRICAL INPUT DATA]

NO	TYPE	DIA-1	DIA-2	HEIGHT	RADIUS
1	0	63.60		14.50	
2	1	63.60	63.60	0.00	
3	0	25.70		16.20	
4	1	25.70	19.90	3.00	
5	0	19.90		39.50	
6	1	19.90	17.90	1.50	
7	0	17.90		114.20	

[MATERIAL] : 1010

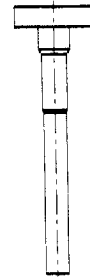


그림 12 최종제품의 입력결과

한 펀치압력, 성형하중, 다이내압등을 나타내며, 그림 13(d)는 변형률분포를 나타낸다.

한편 냉간단조 금형설계프로그램인 "Design-Die"는 다이, 펀치 등의 설계에 적용할 수 있는데, 그림 14와 그림 15는 공정설계의 결과를 이용하여 적합한 금형설계를 적용시킨 결과이다.

그림 14는 제 2공정에서의 다이설계의 결과이며, 이 다이의 형태는 비분할 다이이다.

그림 15는 동일한 조건에서 보강링의 개수를 증가시켰을 때의 다이설계의 결과로서, 이것은 제한된 크기의 프레스에서 다이내압이 설계된 다이세트의 최대허용내압보다 클 경우의 다이설계의 적용예이다.

3.2 계측 및 품질보증을 위한 PC의 응용

이 밖에도 단조실험 및 소성가공부품의 품질보증을 위한 계측기술에서도 퍼스널컴퓨터의 발달에 의하여 실제로 사용하는 수준에 도달하여 상품화 되고 있다. 단조실험에서의 퍼스널컴퓨터의 응용의 일례로서 다음과 같은 것들이 있다.

프레스에서 냉간 업세팅가공을 할 때, 가공소요시간이 매우 짧다. 이와 같은 짧은시간내에 소재와 공구의 순간의 변화, 가공하중과 소재의 가공변위량의 동적변화등을 연속적으로 출력하는 경우에 퍼스널컴퓨터를 이용하여 속성도가 높고, 주변장치의 제어에 LSI가 풍부하고 가격이 낮으므로 쉽게 단기간에 구축할

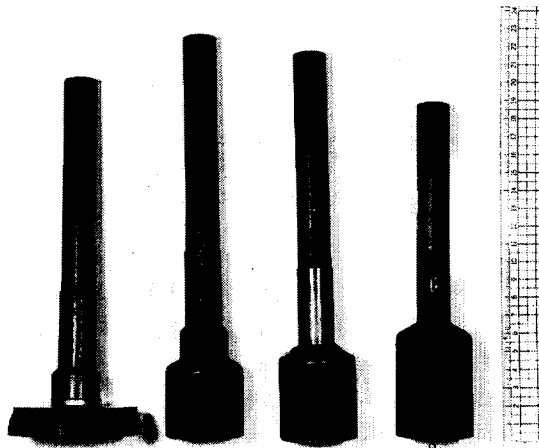
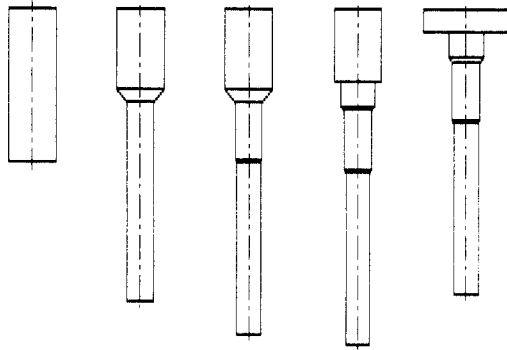


그림 11 냉간단조 공정순서의 예



(a)

** PROCESS OUTLINE **

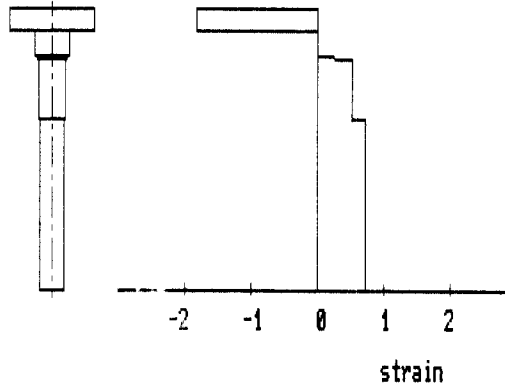
PROCESS	PUNCH PRESSURE (Kg/mm ²)	DIE PRESSURE (Kg/mm ²)	FORCE (Tons)
1 Creeping			40.24
2 Extrusion	164.07	145.47	157.85
3 Extrusion	94.52	76.02	29.43
4 Upsetting	88.17	69.58	84.83
5 Upsetting	112.34	93.74	106.89

(c)

** WORKPIECE SPECIFICATION **

PROCESS # 1	BILLET						
DIAMETER =	35.00						
HEIGHT =	100.97						
PROCESS # 2	EXTRUSION (TRAP)						
DIAMETER =	35.00	19.90					
HEIGHT =	52.97	7.81	133.26				
PROCESS # 3	EXTRUSION (OPEN)						
DIAMETER =	35.00	19.90	17.90				
HEIGHT =	52.97	7.81	39.50	1.50	114.20		
PROCESS # 4	EXTRUSION (TRAP)						
DIAMETER =	35.00	25.70	19.90	17.90			
HEIGHT =	47.88	16.20	3.00	39.50	1.50	114.20	
PROCESS # 5	Upsetting						
DIAMETER =	63.60	25.70	19.90	17.90			
HEIGHT =	14.50	16.20	3.00	39.50	1.50	114.20	

(b)



(d)

(a) 공정순서, (b) 각 공정의 출력결과
(c) 공정변수, (d) 변형률분포

그림 13 최종제품에 대한 출력결과

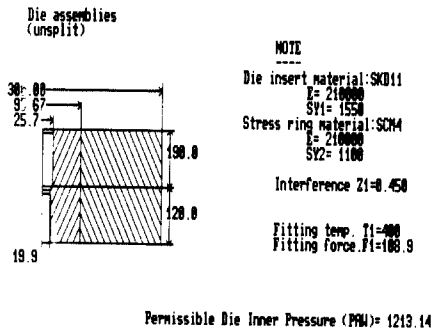


그림 14 냉간단조 금형설계의 출력결과(1)

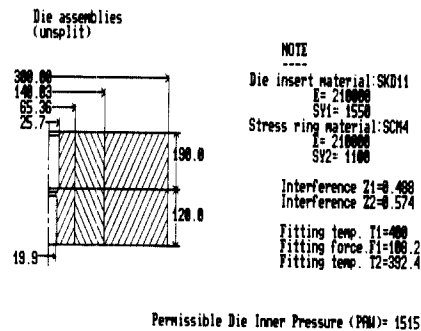


그림 15 냉간단조 금형설계의 출력결과(2)

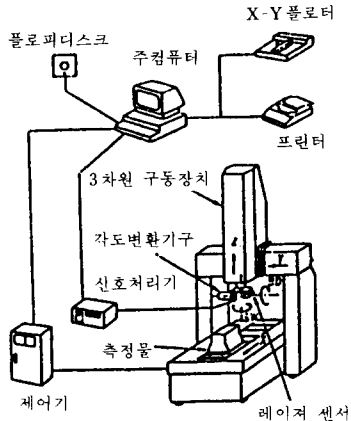


그림 16 計測裝置의全體構成

수가 있다.

또한 소성가공에서도 단순제품으로부터 좀더 복잡한 형상의 부품을 고속화, 고정밀도화, 고신뢰성을 갖고 제조되기 위해서는 이에 따른 고정도의 계측기술이 요구된다.

따라서 그림 16에서 보는 바와 같이 정밀부품(치차, 등속조인트 등)의 형상의 측정에 범용성이 높은 3차원 측정기를 사용한다. 이 3차원 측정기는 레이저센서를 부착한 5자유도를 갖는 계측장치이다.

실험장치 및 계측기는 컴퓨터의 발달에 의하여 그 계측내용도 고정도화 할 수 있으므로 제조공정 내에서의 품질보증의 정도도 향상되고 있다. 또한 수치해석, 컴퓨터등의 발달에 의하여 경험에 의존하던 많은 부분이 해석이 가능하게 되었다.

4. 맺음말

공정설계 및 금형설계의 자동화, 계측, 제어 등과 같은 일련의 작업들이 종래에는 대형의 컴퓨터에 의하여 행하여졌지만 전자산업의 빠른 진보로 퍼스널컴퓨터에 의해서도 충분히 설계를 행할 수 있게 되었다.

특히 퍼스널컴퓨터의 이용은 대형컴퓨터에

비하여 적은 비용으로 설치가 가능하며, 이용이 용이하고, 작은 공간을 차지하므로 많은 잇점을 갖고 있다.

참고 문헌

- (1) Lange, K., 1985, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill Book Company.
- (2) Niebel, B.W., 1966, "An Analytical Technique for the Solution of Manufacturing Operation", Journal of I E.
- (3) Link, C.H., 1976, "CAPP-CAM-I Automated Process Planning System", Proceedings of the 13th Numerical Control & Technical Conference, Ohio.
- (4) Tulkott, Jo., 1981, "Lockheed's GEN-PLAN", 18th Numerical Control Society Technical Conference, Dallas, pp. 417~421.
- (5) Wysk, R.A., 1977, "An Automated Process Planning and Selection Program : APPAS", ph. d. Thesis, Purdue University.
- (6) Gokler, M. I., Dean, T. A. and Knight, W. A., 1983, "Computer Aided Die Design for Upset Forging Machines", Proc. 11th NAMRC, pp. 217~223.
- (7) Rebholz, M., "Computer-Aided Production Planning in Cold Forging", Annals of CIRP, Vol. 29, No. 1.
- (8) Davison, T. P. and Knight, W. A., 1984, "Computer Aided Process Design for Cold Forging Operations, Advanced Technology of Plasticity, Vol. 1, pp. 551~556.
- (9) Bariani, P. and Knight, W. A., 1987, "Computer Aided Cold Forging Process Design : Determination of Machine Setting Condition", Annals of CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 245~248.
- (10) Bariani, P., Benuzzi, E. and Knight, W. A., 1987, "Computer Aided Design of Multi-

- stage Cold Forging Process: Load Peaks and Strain Distribution Evaluation”, Annals of CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 145~148
- (11) Badawy, Gly. A., Raghupathi, P. S., Kuhlmann David, J. and Taylan Altan., 1985 “Computer-Aided Disign of Multi Stage Forging Technology”, 11, pp. 259~274.
- (12) Perotti, G., and Maggiorano, E., 1980, “A Calculation Program for Deep drawing Forms”, Annals of CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 237~240.
- (13) 高橋正一, 1987, “冷間鍛造型 CAD/CAM システム—その概要”, 機械と工具, Vol. 31, No. 8, pp. 81~87.
- (14) 鈴木秀知, 1987, “冷間鍛造型CAD/CAM システム—適應實例”, 機械と工具, Vol. 31, No. 8, pp. 81~87.
- (15) Eshel, G.B., Barash, M. and chang, T. C., 1985, “A Rule-Based System for Automatic Generation of Deep Drawing Process Outlines”, Computer-Aided Intelligent Process Planning, Vol. 19, pp. 1~18.
- (16) 平井恒夫, 片山傳生, 赤松憲一, 1988, “冷間鍛造型設計へのAIの應用”, 人工知能とその應用, pp. 67~86.
- (17) 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, 1988, “퍼스널컴퓨터에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(I)”, 대한기계학회 논문집, 제 12 권, 제 4 호, pp. 712~720.
- (18) 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, 1989, “PC에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(II)”, 대한기계학회 논문집, 제 13 권, 제 1 호, pp. 190~198.
- (19) 최재찬, 진인태, 1988, “퍼스널컴퓨터에 의한 디이프드로잉 공정설계의 전산화에 관한 연구(I)”, 한국정밀공학회지, 제 5 권, 제 3 호.
- (20) 최재찬, 김형섭, 허만조, 1989, “축대칭 다단 냉간단조의 공정 및 금형설계 자동화에 관한 연구(I)”, 한국정밀공학회지, 제 6 권, 제 4 호.

