

축대칭 부품에 대한 열간단조의 공정 및 금형설계에 관한 연구(I)

최재찬*, 김병민*, 김성원**, 이종수***, 홍성석***, 김남환***

A Study on the Process Planning and Die Design of Hot Forging for Axisymmetric Parts(I)

J. C. Choi*, B. M. Kim*, S. W. Kim**, J. S. Lee***, S. S. Hong***, N. H. Kim***

ABSTRACT

This paper describes some research of Computer-Aided Process Planning and Die Design of Hot Forging for axisymmetric parts produced by the press. An approach to the system is based on knowledge based system. The system has been written in AutoLisp with personal computer. Knowledges for process planning & die design are extracted from the plasticity theories, handbooks, relevent references and empirical know-how of field experts in hot forging companies. The developed system is composed of five main modules, such as input module, process planning module, die design module, flow simulation module and output module which are used independently or in all. The final output is generated in graphic form. The developed system which aids designer provides powerful capabilities for process planning and die design of hot forging. This system also provides approximate flow pattern.

Key Words : process planning, die design, hot forging, axisymmetric parts, knowledge based system

1. 서 론

재결정온도 이상에서 간단한 형상의 소재로부터 하나 혹은 둘 이상의 공정을 통하여 바라는 최종형상으로 제품을 성형하는 열간단조는 금속유동의 예측, 다이와 소재의 접촉면에서의 마찰거동, 변형하는 소재와 다이 사이의 열전달 그리고 장비와 공정변수와의 관계 때문에, 매우 복잡한 성형공정이다^[1,2]. 특히 예비성형체의 설계는 많은 경험을 필요로 하는 기술이며, 대부분 숙련자의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

게다가 열간단조로 생산되는 부품들은 형상이 복잡하며, 기술의 정량화가 어렵다. 따라서 대부분의 단조공장에서 예비성형체를 설계하기 위하여, 먼저 예비성형 공정수를 선택하고, 그 공정수에 기초하여 경험적인 지침 및 과거의 경험을 이용하여 단조품을 생산하기 위한 비용을 결정하는 단조공정설계를 수행한다. 그러나 그와같은 방법은 시행착오가 많고, 비용을 증대시킬 뿐만 아니라, 많은 시간을 필요로 한다^[3,4].

또한 최근에는 복잡한 부품들의 일체화, 절삭가공 공정의 생략 등에 대한 요구 때문에, 단조

* 정회원, 부산대학교 기계기술연구소

** 정회원, 부산대학교 대학원

*** 정회원, 국방과학 연구소

의 정밀화에 관한 기술이 많이 진행되고 있다. 이와같은 변화에 대처하기 위해서는 생산시스템의 자동화가 필요하며, 이를 위하여 컴퓨터에 의한 설계 및 제작 등의 실용화에 주목하고 있다. 컴퓨터의 이용에 의하여 생산성을 향상시킬 뿐만 아니라 공정 및 금형설계자의 직관과 경험에 기초한 기술이 컴퓨터를 이용한 해석과 설계를 통하여 개선될 수가 있다.^[4,5]

이 때문에 컴퓨터를 이용한 자동설계에 대하여 많은 연구가 이루어졌다. 그 중에서 열간단조의 공정 및 다이설계에 관한 연구로서, Golker는 해머에 의하여 성형되는 열간 업셋단조 및 피어싱 공정의 공정순서, 다이설계를 자동화하는 프로그램을 개발하였으며^[6,7], S. H. Choi, T. A. Dean 등은 해머에 의한 축대칭 및 비축대칭 부품의 공정 설계, 다이설계 그리고 비용 계산에 관한 CAD/CAM 프로그램을 개발하였다^[8,9,10]. 그리고 G. B. Yu, T. A. Dean 등은 축대칭 형상의 리브/웹 부품에 대한 블록커설계에 관하여 지금까지의 방법을 재 고찰하였으며, 대화식으로 구성된 새로운 방법을 제시하였다^[11]. 또한 N. Akgerman, T. Altan 등은 터어빈 및 압축기의 날개를 단조하기 위한 다이를 설계 및 제조할 수 있는 "BLDFORG"라는 프로그램을 개발하였다^[12].

이와 별도로 예비성형체를 설계하기 위한 프로그램도 개발되었다. T. Subramanian, N. Akgerman, T. Altan 등은 정밀 등온단조에서, 단이진 "L" 형태의 예비성형체를 설계할 수 있는 "DIEFORG"라는 컴퓨터 시스템을 개발하였다^[13].

최근에는 지식베이스에 기초한 전문가 시스템에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다. J. P. Tang은 리브/웹 형상에 대하여, 가공부품 도면으로부터 단조 도면으로 변환할 수 있는 "AFD"라는 전문가시스템을 개발하였으며^[14], K. R. Vermuri는 리브/웹 형상에 대하여, 블록커설계와 예비성형체를 설계할 수 있는 "BID"라는 전문가시스템을 개발하였다^[15,16]. 특히 솔리드모델링을 이용하여 3차원 원형형상

을 이용하여 축대칭 형상의 블록커설계에 적용한 예도 있다. Y. Zhang, W. A. Knight 등은 3차원 원형을 수정함으로써, 축대칭 형상의 블록커설계에 적용하였다^[17]. 또한 이미 개발된 시스템을 연결하여 단조공정과 공구를 모델링하는 시스템을 A. N. Bramley가 개발하였다^[18].

본 연구에서는 프레스에 의하여 성형되는 축대칭 형상의 열간단조품에 대한 설계규칙을 정량화하고, 설계방법을 체계화하여 공정 및 다이를 자동으로 설계하는 프로그램과 성형공정중의 금속유동을 근사적으로 예측할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하고자 한다.

2. 설계규칙 및 데이터베이스

일반적으로 지식베이스 시스템의 설계규칙과 데이터베이스는 소성역학 이론, 각종 핸드북 및 관련서적 그리고 생산현장 전문가의 경험적 지식에서 추출하여 이것을 검토하여 일반성 있고 이론적으로 모순이 없는 사항에 대하여 설계규칙과 데이터베이스로 구축한다.

본 시스템에서 설계규칙 및 데이터베이스는 설계순서에 따라 공정설계규칙 및 데이터베이스, 다이설계규칙 및 데이터베이스 등으로 분류하여 구축되었다. 공정설계규칙에서는 성형공정의 공정변수(장비, 소재, 온도, 접촉시간, 분할선 및 형상난이도 인자) 및 공정순서(빌렛, 예비성형체, 블록커, 피니셔)를 설계절차에 따라 기술하였다. 다이설계규칙에서는 다이설계에 필요한 다이의 직경, 높이 그리고 다이형상(플러시, 플러시거터, 캐비티) 등에 관하여 정량화하였다. 그리고 재료의 밀도, 비열, 선팽창계수, 열전달 계수 및 단조온도 등이 데이터베이스로 구축되어 있다. 아래의 설계규칙에는 그중 대표적인 몇가지 설계규칙들에 대해서만 기술하며, 데이터베이스에 관해서는 기술하지 않는다.

2. 1. 공정설계규칙

규칙01) 단조장비의 유효하중은 부품을 성형하는데 필요한 최대하중보다는 커야한다.

규칙02) 단조장비의 유효에너지는 부품을 성형하는데 필요한 에너지보다는 커야한다.

규칙03) 분할선은 단조품의 최대직경이 되는 부분에 위치하며, 그 위치에서 축방향 형상에 따라 결정한다.

규칙04) 금속이 변형할 때 체적의 변화는 없다.

규칙05) 부품의 형상이 축대칭이면, 단조품의 축방향 단면적, 체적, 원주길이 그리고 질량 중심은 분할선을 기준으로 상·하로 나누어 결정한다.

규칙06) 소재의 체적은 제품의 체적, 플러시로의 잉여량 그리고 스케일량을 더한 것과 같다.

규칙07) 산화에 의한 재료손실은 첫번째 공정이 시작되기 전에 발생하는것으로 간주하며 따라서 빌렛의 치수를 결정하는데만 사용된다.

규칙08) 산화에 의한 재료의 손실은 가열방법에 따라 결정한다.

규칙09) 밀폐 형단조에서 플러시로의 잉여량은 빌렛의 형상과 제품형상의 난이도에 따라 결정한다.

규칙10) 소재의 직경과 높이는 소재비 및 단면감소율로부터 결정한다.

규칙11) 변형동안 소재의 온도변화는, 소성 변형에 의한 열생성, 다이와 소재의 접촉면에서 마찰에 기인한 열생성, 소재와 다이사이의 열전달을 고려하여 계산된 값을 소재의 평균온도로 한다.

규칙12) 변형중인 재료의 유동응력은, 고려 중인 특성의 영역에 대하여 변형률 및 온도에 의하여 선형보간으로 결정된 재료상수와 변형률속도를 이용하여 결정한다.

규칙13) 다이와 소재사이의 접촉면에서의 마찰은 일정한단마찰을 고려하며 변형영역에 따라 다를 수 있다.

규칙14) 형상난이도 인자의 크기에 따라 그

부품의 예비성형의 공정수를 결정하며, 형상난이도 인자가 2.5배를 초과할 때마다 한 공정씩 추가한다.

규칙15) 예비성형의 공정순서는 블록커공정, 단면성형 예비성형공정, 재료분포 예비성형공정 및 단순업세팅 예비성형공정으로 이루어지며 예비성형공정이 요구되지 않는 경우에 그 부분만 생략한다.

규칙16) 예비성형체의 모든 필렛과 코너반경 등은 최종부품의 필렛과 코너반경보다 커야한다.

규칙17) 예비성형체의 치수는 금속유동이 압출 형태보다는 업세팅 형태가 되도록 단조방향의 최종부품 치수보다 커야한다.

규칙18) 블록커의 치수는 최종다이에서 전단이 발생하지 않도록 분할선 위치에서 반경방향의 최종부품 치수보다 작아야 한다.

규칙19) 블록커 공정에서 플러시는 생성되지 않는 것으로 한다.

규칙20) 해석방법은 단조품을 간단한 기본 변형영역으로 나누고 각 변형영역을 분리하여 해석하며 전 단조품에 대한 해석은 각각의 변형 단위를 통합한다.

2. 2. 다이설계규칙

규칙01) 밀폐형단조에 의한 부품은 두개 이상의 다이에서 성형된다.

규칙02) 다이의 총 외경은 성형하는 장비의 제원에 따라 결정한다.

규칙03) 다이의 높이는 분할선을 기준하여 캐비티의 최대높이에 따라 결정한다.

규칙04) 다이의 바닥과 벽면은 가능한 한 빠른 냉각을 피하도록 두꺼워야 한다.

규칙05) 다이의 내부형상의 치수는 가공온도차에 기인한 열수축을 고려하여 결정한다.

규칙06) 단조품의 질량이 0.45 kg보다 작으면 플러시 치수의 결정은 Wolf에 의한 식을 이용하며, 단조품의 질량이 0.45 kg보다 크면 Teterin의 식을 이용한다.^[3]

규칙07) 플러시거터의 형상은 플러시치수

에 따라 결정되며, 플러시거터의 체적은 플러시로의 잉여량보다 커야한다.

3. 프로그램구성

본 연구에서 개발한 시스템은 프레스에 의하여 성형되는 축대칭 돌형상의 열간단조품에 대한 공정 및 다이설계의 자동화에 대하여 개발하였다. 프로그램 언어로는 AutoCAD 편집상태 하에서 수행되는 AutoLisp을 이용하였다. 이

언어의 특징은 형상을 다루는 데 용이하므로 복잡한 형상을 취급하는 언어로서는 매우 유용하다. 또한 진행방식은 대화식으로 구성되어 있다.

본 시스템의 구성은 입력 모듈, 공정설계 모듈, 다이설계 모듈, 유동시뮬레이션 모듈 그리고 출력 모듈로 구성되어 있고, 각 모듈은 독립적으로 혹은 통합하여 작업을 수행할 수 있다. 본 연구에서 개발한 시스템의 블록 다이어그램 및 정보의 흐름은 Fig. 1과 같다.

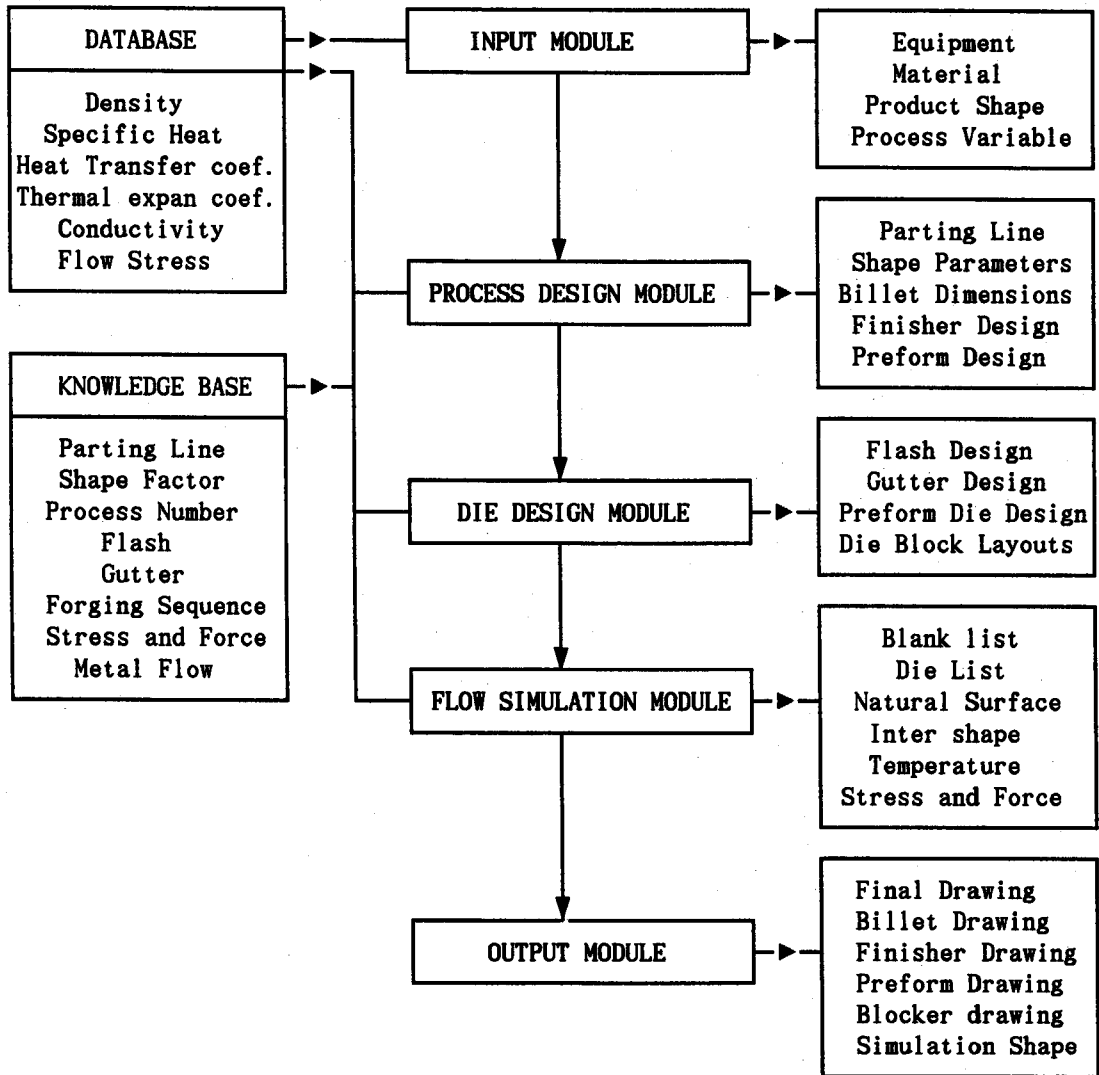


Fig. 1. Block diagram for hot forging system.

3. 1. 입력 모듈

이 입력모듈은 열간단조 공정설계 및 다이설계를 진행하는데 필요한 기본사항을 입력하는 모듈로서, 장비입력모듈(크랭크프레스, 유압프레스), 재료입력모듈(강, 구리, 알루미늄), 공정변수입력모듈(초기 소재온도, 초기 다이온도, 다이/소재의 접촉면 마찰계수, 생산갯수 및 단조비) 및 형상입력모듈 등 4개의 부모모듈로 구성되어 있다. 이 입력의 진행방식은 대화식으로 구성되어 있으며, 일반적으로 많이 사용하는 가용범위가 주어져 있다.

3. 2. 공정설계 모듈

공정설계 모듈에서는 입력된 제품을 성형하는데 필요한 여러가지 공정변수들(예를들면 분할선위치, 형상난이도인자, 빌렛치수 및 피니셔다이, 예비성형체)를 결정하기 위한 모듈이다. 이 모듈은 크게 형상변수 결정모듈, 공정변수 결정모듈, 예비성형체설계모듈, 해석 모듈 등의 부모모듈로 구성되어 있다.

형상변수 결정모듈에서는 제품의 체적, 축방향 단면적, 원주길이 및 반단면의 질량중심을 계산하며 또한 제품의 최대직경, 최대높이 및 평균높이 등이 결정된다. 공정변수결정모듈에서는 빌렛 치수, 분할선의 위치, 스케일 량, 플러시로의 잉여량 등이 결정된다. 예비성형체 설계모듈에서는 예비성형 공정수, 예비성형체의 형상과 치수 등이 결정된다. 해석모듈에서는 각 공정의 응력 및 하중 등이 계산된다.

3. 3. 다이설계 모듈

다이설계 모듈에서는 공정설계 모듈에서 결정된 공정변수들에 기초하여 상·하 다이의 형상이 도면화되어 출력된다. 여기서는 분할선을 기준으로하여 상·하 다이가 단독으로 혹은 조립되어 출력되며, 각 부분의 상세 치수도 결정된다. 또한 이 모듈에서는 플러시 및 플러시거터의 형상이 도면화되어 출력된다.

3. 4. 유동시뮬레이션 모듈

유동시뮬레이션 모듈은 공정설계 및 다이설계 모듈로부터 결정된 소재 형상과 다이형상으로부터, 각 단계의 진행과정 동안 시뮬레이션할 수 있는 모듈이다. 즉 소재형상과 다이형상으로부터 소재와 다이가 접촉하는 부분 및 그 접촉면의 면적을 계산하고 성형단계를 결정한다. 이때 소재와 다이의 접촉면에서 변형되는 체적 및 중립면의 위치를 해석적으로 결정하며, 이 중립면을 기준으로하여 재료의 유동방향을 결정한다. 이 유동방향으로부터 중립면을 기준하여 다리와 소재가 접촉하지 않는 부분으로 재료가 유동한다고 가정하여, 한 단계 변화되었을 때의 소재의 변형모양이 결정되며, 평균온도, 변형률 및 변형률속도로부터 유동응력을 결정한다. 접촉부분의 형상과 재료의 유동응력으로부터 각 단계의 응력분포와 하중이 결정되며, 마지막 행정까지 이런 과정이 반복된다.

전 공정이 수행되었을 때 하중/행정선도가 출력되며, 이로부터 성형공정동안 총 에너지를 결정할 수 있다.

3. 5. 출력 모듈

위의 각 모듈이 수행되고 난 후에는 이 출력모듈을 이용하여 각 단계에서의 결과를 출력하여 도면화 할 수 있다. 이 출력 모듈은 소재형상 출력모듈, 공정변수 출력모듈, 예비성형체형상 및 블록커형상 출력모듈, 최종제품 출력모듈 및 그와 관련된 다이형상 출력모듈, 시뮬레이션 중의 소재의 형상과 다이/소재 사이의 초기접촉상태, 그리고 하중/행정선도가 출력된다. 이 밖에도 세부사항을 검사하기 위하여 원하는 부분의 확대가 가능하며, 수정이 필요한 경우에 즉시 수행할 수 있다.

4. 프로그램의 적용 및 고찰

본 연구에서 개발한 프로그램을 수행하여 최대직경이 914.23 mm이고 성형재료가 SM15C 인 Fig. 5와 같은 돔형상의 부품에 대하여, 장

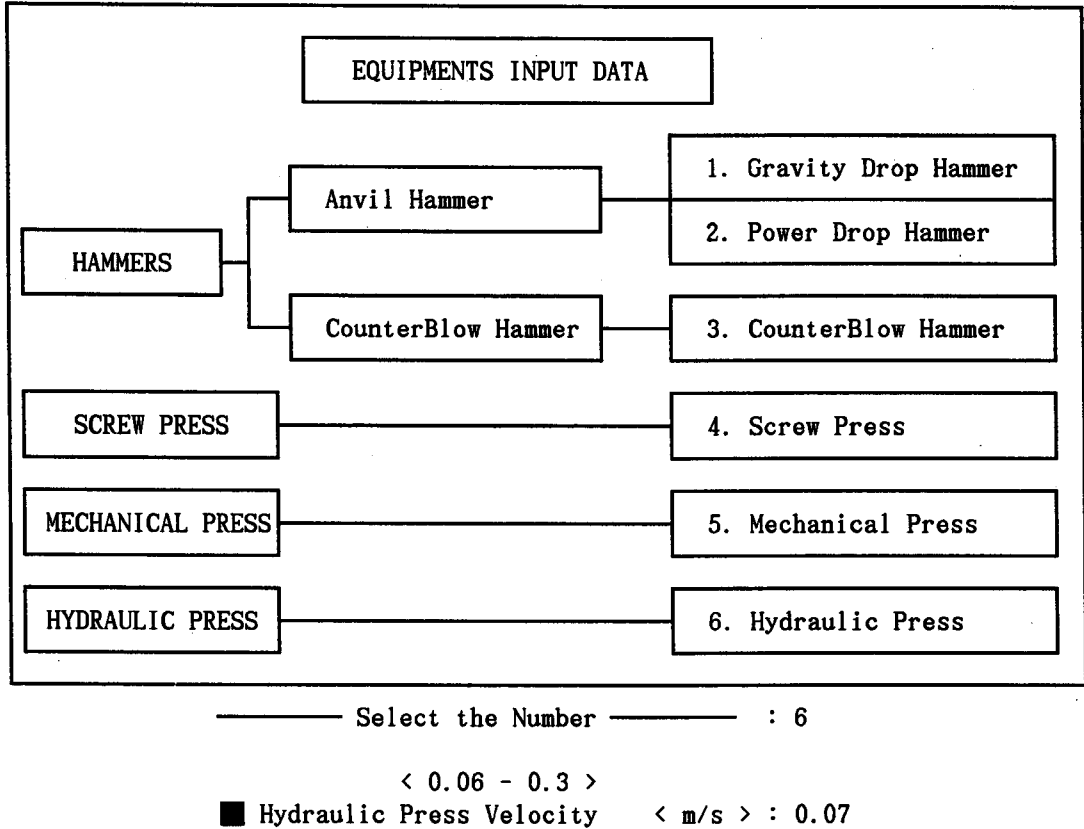


Fig. 2. Input data for equipment.

MATERIAL SELECTION	DIE MATERIAL INPUT
1. Steel 2. Aluminum 3. Copper 4. Titanium 5. Various Metals 6. Not existing	SKD12 SKH3 SKD11 SKS41 SKD1 SCM4 SKD61 SNCM8 SKH9 GT150 SKH54
Select the Number : 1	Die material name : SKD12 Hardness < Hrc > : 58

Material List	STEEL
1015	1055 50100_a H_26_a 316SS
1016	1060 52100 301SS_a 403SS
1016_a	1060_a Alloy 302SS_a SS_a
1018	1095_a Mn_Si 302SS_b SS_b
1025	1115 Cr_Si 302SS_c MARAG
1043	4337_a D3_a 309SS
1045_a	926_a H_13 310SS

Material Exist ? < Y/N > : Y
 Material Selection : 1015

Fig. 3. Input data for product and die material.

INPUT	
Forging Parameter	
<input checked="" type="checkbox"/> Initial Die Temperature	< °C > : 200.0
<input checked="" type="checkbox"/> Initial Blank Temperature	< °C > : 1150.0
<input checked="" type="checkbox"/> Friction Factor (m)	
- Interface (Cavity/Die)	< m > : 0.3
- Interface (Flash /Die)	< m > : 0.3
<input checked="" type="checkbox"/> Forging Ratio	: 4.0
<input checked="" type="checkbox"/> Lot Size	<EA> : 1000

Fig. 4. Input data for forging parameters.

비의 용량을 1만톤 유압프레스로 제한하였을 때의 공정 및 다이설계에 적용한 출력과 그 결과를 검토하고자 한다.

Fig. 2, 3, 4는 입력모듈을 나타낸 것으로 Fig.

2는 성형장비에 관한 입력사항을 나타낸다. 장비의 입력은 대화식으로 선택하며, 선택된 장비에 따라 필요한 변수들을 입력한다. 예를들면 유압프레스를 선정하였을 경우, 유압프레스의 속도의 입력을 필요로 한다. Fig. 3은 제품의 재료와 다이의 재료를 입력하는 모듈이다. 입력할 수 있는 제품의 재료는 5가지로 구분되며, 재료의 선택에 따라서 데이터베이스에 저장되어 있는 재료의 기계적 성질들을 읽어드린다. 또한 다이재료도 대화식으로 입력된다. Fig. 4는 재료의 입력을 완료한 후 공정변수의 입력을 나타낸다. 공정변수의 입력모듈에서는 초기소재온도, 초기다이온도, 마찰계수, 단조비 및 생산갯수의 입력을 필요로 한다. 그리고 입력모듈의 마지막 모듈인 형상을 입력한다. 형상의 입력은 성형하고자 하는 제품을 AutoCAD 편집 상태에서 실치수로 반단면을 그린 것을 직접 화일로부터 입력되며 이 도면으로부터 형상에 관한 데이터를 읽어 드린다.

Fig. 5는 치수없이 반단면으로 입력된 제품의 형상을 상세하게 도면화한 출력결과를 나타내고, Fig. 6은 빌렛직경의 결정방법으로 단조비를 사용하였을 때 제품을 성형하는데 필요한 빌렛의 치수를 나타낸다. 여기서 빌렛의 치수가 도면으로 출력된다.

Fig. 7은 최종다이의 출력결과이다. 이 도면으로부터 알 수 있듯이 최종다이의 형상은 최종

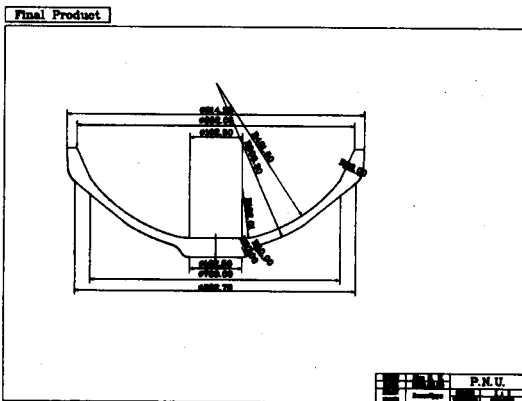


Fig. 5. Output for final product.

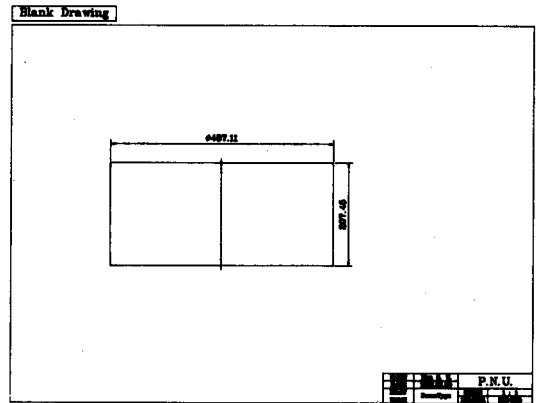


Fig. 6. Output for billet dimensions.

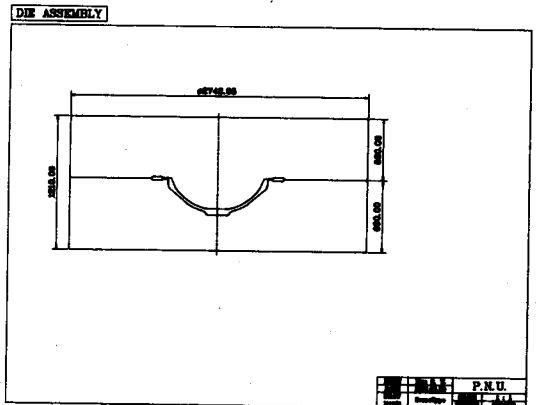


Fig. 7. Output for die assembly.

[PROCESS VARIABLES]

T_VOL	(cm ³)	31990.008
QF	(Kg)	251.122
QFL	(Kg)	9.228
SP		6.933
DO	(mm)	457.114
HO	(mm)	207.452
BLANKV	(cm ³)	34045.232
BLANKW	(Kg)	267.255
FLASHT	(mm)	10.017
FLASHW	(mm)	28.196
TG	(mm)	16.027
WG	(mm)	112.783
DIEDO	(mm)	2742.684
DIEHOU	(mm)	560.000
DIEHOL	(mm)	650.000

Fig. 8. Output for process variables.

부품의 형상과 유사하지만, 성형방법이 밀폐형 단조로 하였을 경우에는 플러시 및 플러시거터의 치수와 형상이 최종다이에 설계되어 출력된다. 또한 제품과 다이의 온도차에 기인한 열 수축량이 고려되어 실치수로 출력된다.

Fig. 8은 공정변수의 출력결과이다. 입력된 제품에 대하여 제품의 체적(T_VOL) 및 질량(QF), 플러시 잉여량(QFL), 형상난이도인자(SP), 빌렛의 직경(DO)과 높이(HO), 빌렛의 체적(BLANK V)과 질량(BLANK W), 플러시 및 거터의 치수, 다이의 직경(DIEDO) 그리고 상·하 다이의 높이 등이 출력된다.

Fig. 9는 예비성형체의 설계방법을 선택하기 위한 대화식입력이다. 예비성형체의 설계는 그림으로 알 수 있듯이 5가지 방법으로 설계가 가능하고, 예비성형체의 선택은 설계규칙에 따라 자동으로 선택되거나 혹은 대화식으로 선택할 수 있으며, 각각의 과정은 시뮬레이션으로 확인이 가능하다. Fig. 10은 단순 업세팅을 이용한 예비성형체의 설계의 출력결과이다. 높이가 207.45 mm인 빌렛을 150 mm로 단순업세팅하였을 때의 예비성형체의 형상과 치수를 나타낸다. 이 도면으로부터 알 수 있듯이 이 부품을 성형하는데 필요한 하중(Force : ton), 평균압력(P_ave : Kg/mm²), 변형후의 제품온도(Temp : °C) 및 다이온도(Temp : °C) 등이 출력된다.

PREFORM METHOD

1. UPSETTING PROCESS (BILLET HEIGHT)
2. BLOCKER DESIGN (CURVATURE %)
3. BLOCKER DESIGN (INTERACTIVE)
4. RADIAL_DISTRIBUTION (MAX. RADIUS)
5. RADIAL_DISTRIBUTION (INTERACTIVE)

Select the Number : 1

Fig. 9. Input data for preform design.

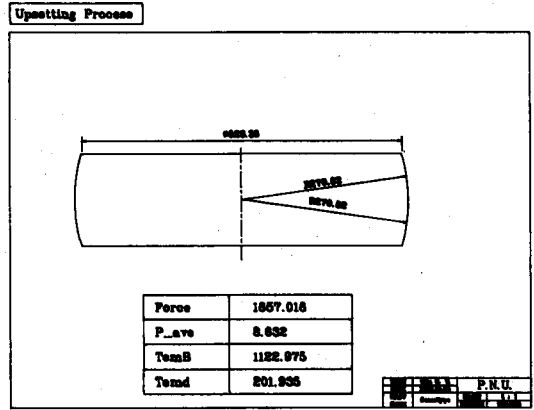


Fig. 10. Output for simple upsetting design.

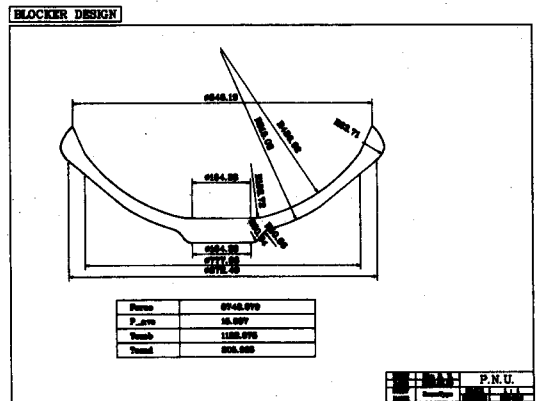


Fig. 11. Output for blocker design.

Fig. 11은 최종형상을 어느정도 유지하면서 설계된 블록커의 출력결과이다. 이 블록커 형상은 설계사양에 따라 대화식으로 수정을 할 수 있다. 제한하중을 초과하기 시작하는 경우는 대부분 플러시가 생성되기 시작하면서 발생하므로 어느정도까지는 형상을 그대로 유지하여 설계한다. Fig. 12는 이 블록커의 형상을 대화식

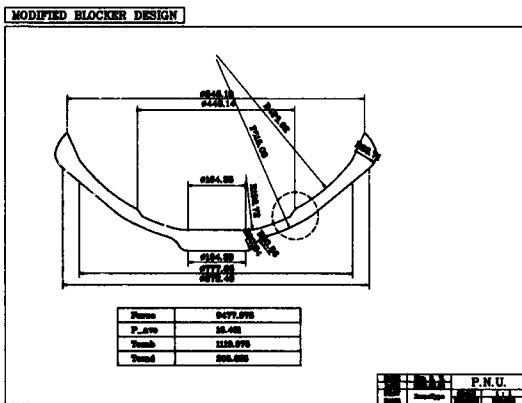


Fig. 12. Output for blocker design(interactive).

으로 설계한 예비성형체의 출력결과이다. 성형 하중을 제한하여 예비성형체를 설계할 때 성형 하중을 감소시키는 방법으로 응력이 가장 큰 부분에 접촉이 발생하지 않도록 설계한 결과이다. 따라서 제품의 중심에서 반경이 220 mm까지 10 mm의 높이에 해당되는 부분의 체적을 부품의 바깥쪽으로 이동시켜 설계한 출력결과이다. 그리고 반경방향으로의 재료분포를 이용하여 예비성형체를 설계한 출력결과는 Fig. 13과 같다.

이와같은 과정은 설계과정에 따라 예비성형체를 성형하고 난 후 각각의 공정중에 금속유동의 모양을 관찰하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서 제한하중 이내에 성형하기 위하여 한 공정이 끝난 후에는 재 가열을 하도록 하였다. 예를들어 빌렛을 최종다이에서 성형하였을 경우의 시뮬레이션의 결과 및 하중/행정선도가 Fig. 14과 같다. 이 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있듯이, 제품을 성형할 때의 최종하중이 약 6만톤이므로 제한하중을 초과하여 예비성형공정을 필요로 한다.

따라서 한 공정을 추가하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 Fig. 15와 같고, 이것은 블록커 형상을 대화식으로 수정한 형상을 빌렛으로부터 한번에 성형하는 경우의 시뮬레이션 결과이다. 여기서는 약 1.1 만톤가량의 하중을 필요로 한다. Fig. 16은 이 예비성형체로부터 최종부품을 시뮬레이션하였을 경우의 소재의 변형모양과 하중/행정선도를 나타낸다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 플러시를 형성하기 전까지는 하중이 제한하중이내에서 성형되며 제품의 형상은 거의 채워지지만 플러시가 생성되면서 하중이 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 제한하중내에서 플러시가 있는 밀폐형단조에서는 성형하기 어렵다는 것을 알 수 있다. Fig. 17은 플러시가 없는 자유형단조에서의 출력결과이며, 이때의 최대하중은 약 7천톤으로서 플러시가 없는 경우에는 제한하중내에서 성형이 가능함을 알 수 있다.

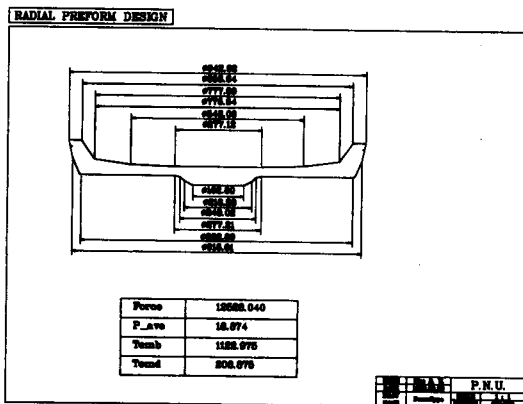


Fig. 13. Output for preform design(radial metal distribution).

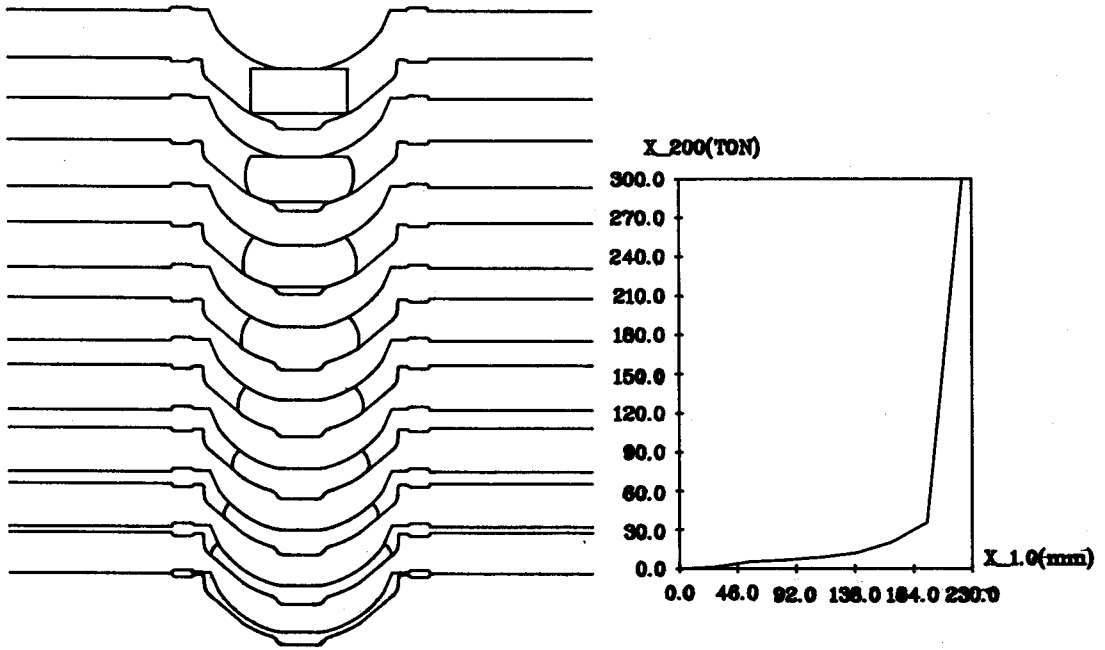


Fig. 14. Flow simulation(billet : finisher)

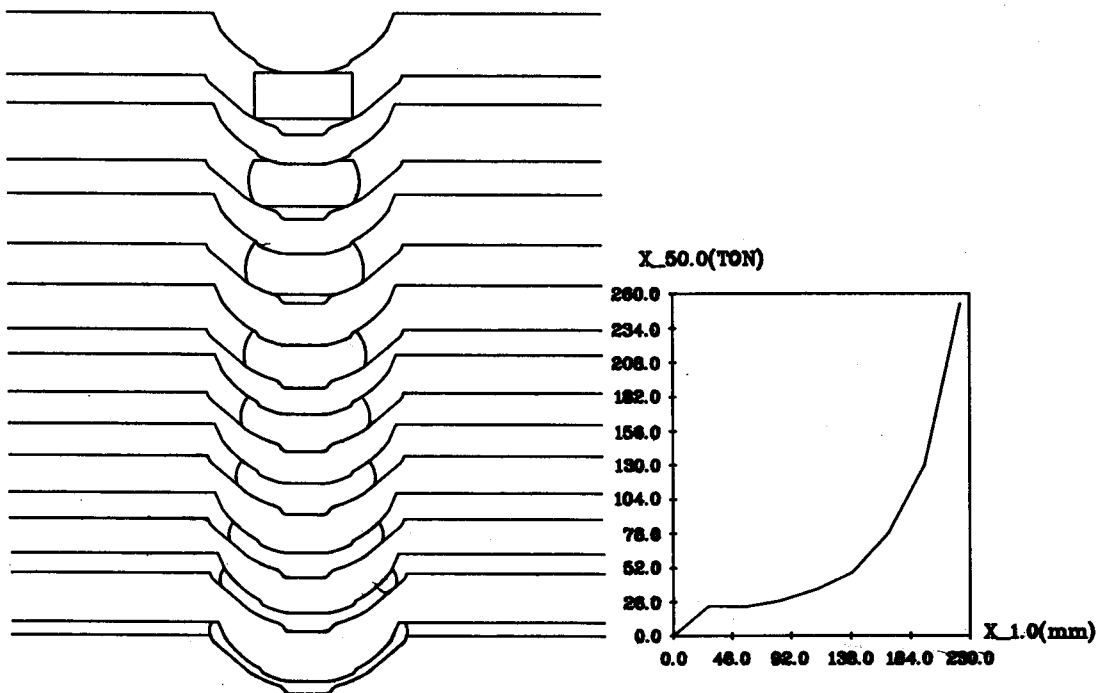


Fig. 15. Flow simulation(billet : blocker)

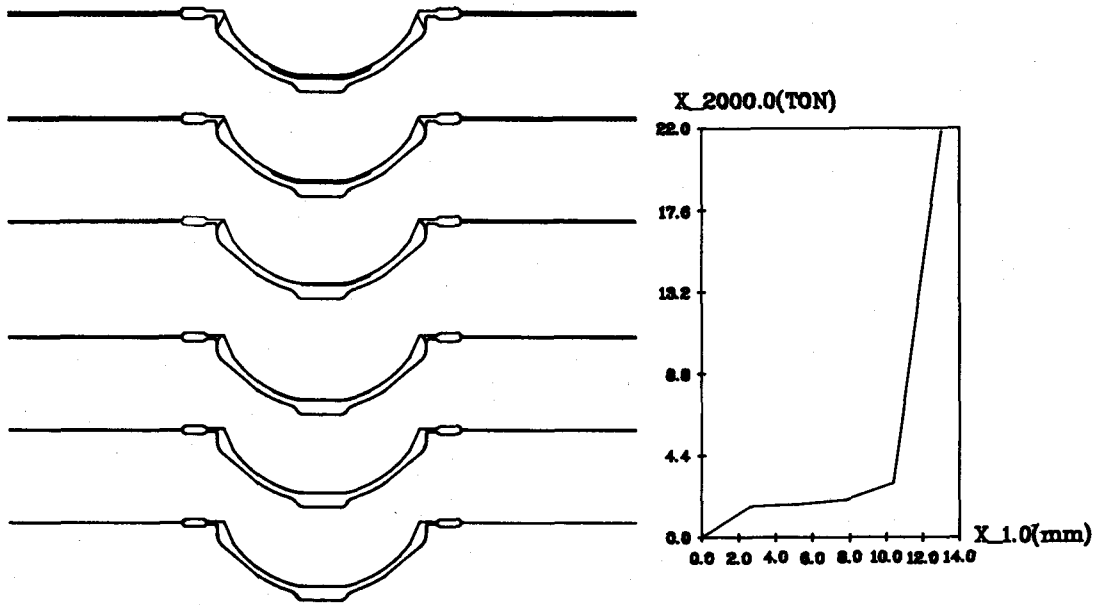


Fig. 16. Flow simulation(blocker : finisher)

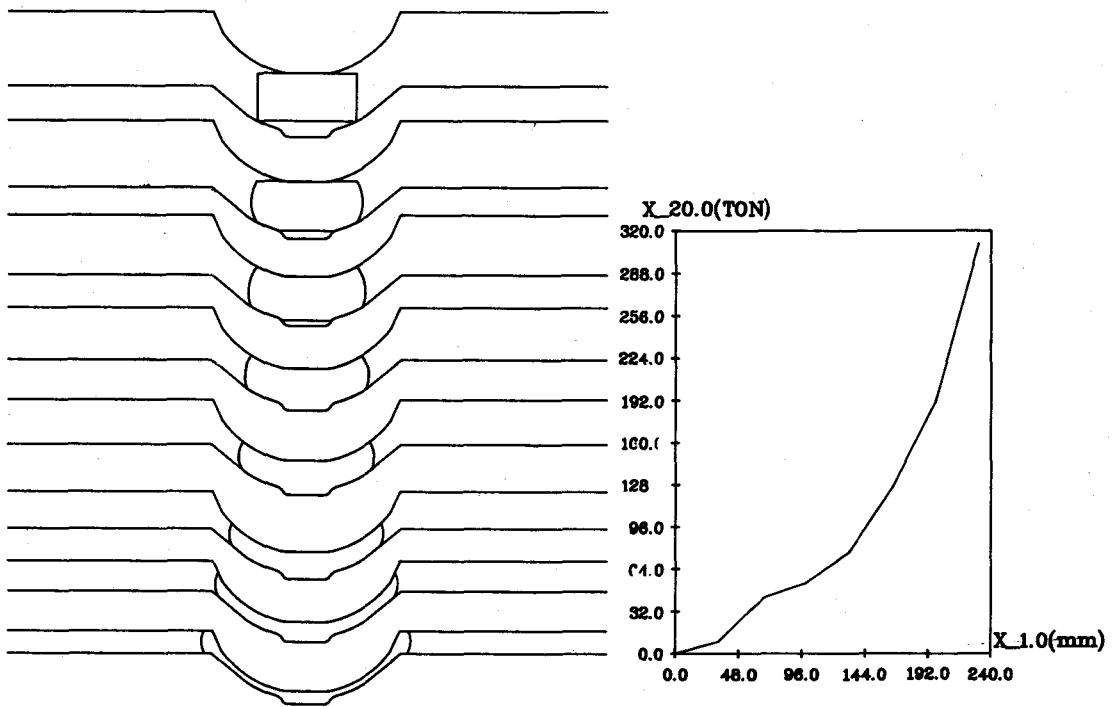


Fig. 17. Flow simulation(open die forging)

5. 결 론

본 연구에서는 프레스에 의하여 성형되는 축대칭 돔형상 열간단조품의 공정 및 금형설계, 유동시뮬레이션 프로그램을 개발함에 있어서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 열간단조 공정 및 금형설계에 필요한 기술 및 경험을 규칙 형태로 정량화 하였으며 설계방법을 체계화 하였다.

2) 정량화된 규칙을 토대로하여 축대칭 형상의 대형 반구형 부품의 공정설계(설계변수 및 예비성형설계), 금형설계 그리고 유동 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

3) 열간단조 공정 및 금형설계에 관하여 경험이 적은 설계자라도 쉽게 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

4) 대형부품을 제한하중 이내에서 성형할 수 있는 예비성형 설계방법의 가능성을 제시하였다.

참고문헌

1. K. Lange, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill Book Company, 1985.
2. A.M. Sabroff, F.W. Boulger, H.J. Henning, "Forging Materials and Practices", Reinhold Book Corporation, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 1968.
3. T. Altan, F. W. Boulger, N. Akgerman, J. R. Becker, H. J. Henning, "Forging Equipment, Materials and Practices", Metal & Ceramic Information Center Battelle Columbus Laboratories, MCIC-HB-03.
4. T. Altan, Soo-Ik Oh, Harold L. Gegel, "Metal Forming: Fundamentals and Applications", American Society for Metals, Metal Park, 1983.
5. 後藤玲嗣, "型鍛造におけるCAD/CAM", Journal of the JSTP, 塑性と加工, Vol.26, No.297, 1985, pp.1008-1015.
6. M. I. Golker, T. A. Dean, W. A. Knight, "Computer-Aided Die Design for Upset Forging Machines", Proc. 11th NAMRC, 1983, pp.217-223.
7. M. I. Golker, T. A. Dean, W. A. Knight, "Computer-Aided Sequence Design for Piercing on Horizontal Forging Machines", Journal of Mechanical Working Technology, Vol.8, 1983, pp.13-26.
8. S. H. Choi, P. Sins and T. A. Dean, "A CAD/CAM Package for Forging Hammer Dies", Int. J. Mach. Tool. Des. Res., 1985, pp.451-457.
9. S. H. Choi and T. A. Dean, "Computer aids to Data Preparation for Cost Estimation", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol.24, No.2, 1984, pp.105-119
10. S. H. Choi and T. A. Dean, "Computer Aided Design of Die Block Layouts", Int. J. Mach, Tool. Manu., Vol. 27, No. 1, 1987. pp.91-103.
11. G. B. Yu and T. A. Dean, "A Practical Computer-Aided Approach to Mould Design for Axisymmetric Forging Die Cavities", Int. J. Mech. Tool Des. Res. Vol. 25. No.1, 1985, pp.1-13.
12. N. Akgerman, T. Altan, "Application of CAD/CAM in Forging Turbine and Compressor Blades", Trans, ASME, Journal of Eng. for Power, April, 1976, pp.290-296.
13. T. L. Subramanian, N. Akgerman, T. Altan, "Computer aided-Preform Design for Precision Isothermal Forging", Battelle columbus laboratories, Columbus Ohio 43201, pp.198-203.
14. J. P. Tang, "AFD: A Knowledge based

- Approach to Automated Forging Design”, Ph.D. Thesis, the Ohio State University, 1986.
15. K. R. Vermuri, S. I. Oh and T. Altan, “BID: A Knowledge- Based system to Automate Blocker Design”, Int’ J. of Mach. Tool Des. Res., November, 1988, pp.505-518.
16. K. R. Vermuri, S. I. Oh, “A Knowledge -Based Approach to Geometric Design of Blockers”, Battelle Columbus Division, Ohio.
17. Y. Zhang, W. A. Knight, “Blocker Forging Design by Solid Modeling Modification”, Trans. of NAMRI /SME, 1990, pp.76-83.
18. A. N. Bramley, C. F. Lugora, F. H. Osman, “Forging Process Modeller-A Feasibility Study”, Annals of the CIRP, Vol. 36, 1990, pp.227-230.