

공작기계 기술의 현재와 미래(17)

강 철 희*

Machine Tool Technology; The Present and the Future(17)

C. H. Kahng*

강좌 시리즈 차례

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| (1) 서론 | (11) EDM 가공, Laser 가공 공작기계 |
| (2) 공작기계의 고속화와 고성능화 | (12) CNC 컨트롤의 발전 |
| (3) 고속MC의 Tooling | (13) 공작기계의 새 개념(VARIAX, HEXAPOD) |
| (4) 공작기계의 정밀화 | (14) 측정, Sensing 기술 |
| (5) 공작기계의 동적 특성 | (15) CAD/CAM/CAE와 공작기계 |
| (6) 공작기계의 열적 특성 | (16) 공작기계의 성능 평가 |
| (7) CNC-선반의 현재와 미래 | (17) Metal Forming 공작기계 |
| (8) 머시닝 센터의 현재와 미래 | (18) 생산시스템(FMC, FMS) |
| (9) CNC 연삭 공작기계 | (19) 미래의 생산(CIM, IMS) |
| (10) 초정밀 가공 공작기계 | (20) 한국 공작기계의 갈 길 |

17. Metal Forming(소성가공) 공작기계

17-1. 서론

소성가공이란 원재료를 소성변형(Plastic deformation)을 통해서 고체의 제품을 만드는 가공법이다. 가공 중에 물체의 질량과 체적에는 크게 변화가 없다. 소성 가공 중 주응력이 어떻게 작용하느냐에 따라서 소성가공을 여러가지로 분류하고 있다. 즉, Metal Forming은 다음과 같이 분류할 수 있다.

1) Compound Forming에는,

Rolling, Free forming, Die forming, Stamping, Pressing

2) Tension compression forming에는,

Drawing, Deep-drawing, Rimming, Spinning, Bulge forming

3) Tension forming에는,

Lengthening, Widning, Deepening

4) Bending에는,

Bending with linear tool motion, Bending with rotary tool motion

* 統一重工業(株) 전 무

5) Thrust forming에는, Swaging, Twisting이 있다.

Forming을 분류할 때의 기준으로서 작업온도(Temperature)를 고려해야 한다. 냉간소성가공(Cold forming)과 온간소성가공(Hot forming)으로 구분한다. 냉간소성가공은 실내온도하에서 재료가 변형하지만 온간소성가공은 재결정온도(Recrystallization temperature)위에서 가공된다.

Fig.17-1에서 보는 바와 같이 Hot rolling이 시작하기 전에는 Grain size가 큰 조직이 Rolling과 더불어 Grain이 길어지고 새로운 Grain이 형성되면서 적어진다. 따라서, Tensile strength가 커지고 Ductility가 감소된다. 이것은 Recrystallization이 완성되기 때문이다. 연성(Ductility)이 상승하면 소성 Energy가 적게 들고 따라서 적은 소성력이 소요된다. Fig.17-2에서 보는 바와 같이 온도가 상승하면 Forming하는데 필요로 하는 Stress가 적어진다. 이 때의 소성가공의 강도(Intensity)는,

$$\phi = \int_{e_0}^{\phi} \frac{dl}{l} = l_n \frac{l_1}{l_0}$$

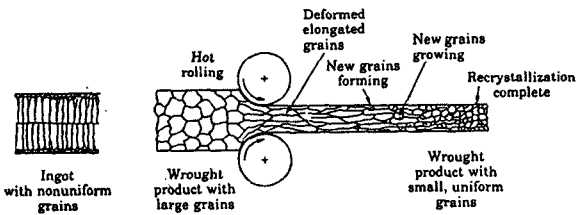


Fig. 17-1 Hot rolling

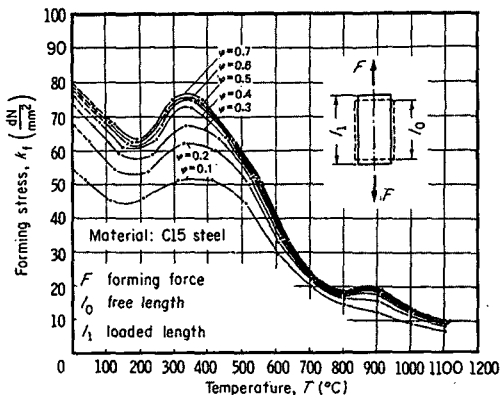


Fig.17-2 Relationship between forming stress (\$k_f\$) and temperature(\$T\$)

평균 소성속도,

$$\dot{\phi}_m = 1.5_s^{-1} \text{ 로 표시할 수 있다.}$$

소재를 소성가공을 하기 위한 Energy는 소성가공기계에서 얻어지고 적합한 Die를 거쳐서 재료에 전달된다. 재료에 대한 마찰 저항은 Die에서 이루어지는 것에 대항해야 한다. Fig.17-3은 소성가공 공작기계의 기초적인 기능에 따라 분류한 것이다.⁽¹⁾ 소성가공을 이 Energy의 제한 억제방법과 운동 억제 방법(또는 힘의 제한)의 두 가지로 구별할 수 있다. Drop hammer나 Screw press는 Potential 또는 Kinetic energy가 소재에 전달되어 작업이 완성되는데 이때 회전운동의 Mass가 직선운동으로 전환되나 Energy가 제한되어 일어나는 작업이다. Eccentric, Crankshaft press는 Crank의 Dead center에 의해서 결정되는 Ram의 운동이 그 기계의 능력을 표시하는데 이것이 Motion 제한기계이다. Hydraulic press는 Piston에 주어진 압력과 그 면적이 전체 프레스의 힘이 된다. Fig.17-3에서 보는 Energy 억제방법에 있어서는 Energy를 표시하는 기초적인 식을 각각 다르게 표시할 수 있고 운동에 따라서 공구의 위치변위가 시간과 더불어 변해지는 모습을 잘 나타내고 있으며 각 가공법의 장점을 비교하고 있다. 일반 Motion제한 소성가공법에는 Energy대신 공구의 상하운동의 Stroke \$h\$로 표시하고 있다. 특별히 소성가공 공작기계를 선택할 때는 여러가지의 Criteria를 검토해야 한다. 다음은 그 중요한 판단의 기준을 말한다.

- ① Work의 대소에 따라서 기계의 능력의 크기를 선택해야 하며,
- ② 요구되는 힘과 Energy는 기계의 크기와 작동원리에 좌우되고,
- ③ 소성속도는 각 기계의 작동원리에 따르며,
- ④ Work의 정밀도는 공작기계의 기하학적 정밀도와 Die의 정밀 그리고, 기계와 Die의 강성에 영향을 받는다. 세계적으로 소성 가공 공작기계 생산액은 절삭 가공 공작기계에 비해 약 1/3에 불과하지만 설계, 기술면에서는 양자가 똑같은 문제를 안고 있다. 이 방대한 소성 가공 공작기계의 설계문제를 다룬다는 것은 이 장 하나로 부족하기 때문에 특별한 최신 개발 사례만을 소개코저 한다.

17-2. 부가가치와 소성가공

제조업에 있어서 생산활동은 가치의 창조과정이며, 이것을 Fig.17-4와 같이 표현할 수 있다. 여기서, 입력측의 \$v\$는,

Functional principle	Energy constrained				Movement constrained				Force constrained
	Drop hammer	Pressure-assisted hammer	Dual-action hammer	Screw press	Eccentric press	Crank press	Toggle press	Modified toggle press	
Basic law	$E = mgh = \frac{1}{2}mv^2$	$E = mgh + A \int \rho(h)dh = \frac{1}{2}mv^2$	$E = A \int \rho(h)dh = \frac{1}{2}v^2(m_u + m_l)$	$E = \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2}v^2/h$	$h = r(1 - \cos a)$ for $r < l$	$h = r(1 - \cos a)$ for $r < l$	$h = f(a, r, \dots)$	$h = f(a, r, \dots)$	$F = pA$
Displacement / time relationship of ram									
Main advantages of functional principles	Low capital cost High forming velocity	Reduced overall height High forming velocity	High forming velocity High forming energy	High component accuracy High forming energy	High output Adjustable stroke	High output Long stroke	High force at end of stroke Low working velocity	Low working velocity Rapid return stroke	Variable displacement / time relationship of ram

t time
 v velocity
 m mass of ram
 m_u mass of upper ram
 m_l mass of lower ram
 E forming energy
 J moment of inertia
 ω angular velocity
 r crank radius
 l connecting-rod length
 a crank angle
 h stroke
 A piston area
 p hydraulic/pneumatic pressure
 F forming force

Fig.17-3 Functional principles of forming machines

$$v = \sum_{k=1}^n v_k = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n$$

로 표시할 수 있다. 예를들면, v_1 은 소재, v_2 는 인건비, v_3 은 전력 등이다. 출력축의 V 도,

$$V = \sum_{k=1}^m V_k = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_m$$

로 표시할 수 있다. 예를들면, V_1 은 제품, V_2 = 폐기물 등이 된다. v, V 의 단위를 가격으로 한다. 주의해야할 점은 출력축의 V_k 는 항상 Plus라고만 말할 수 없고, 공해(公害)와 같이 Minus의 출력축이 존재한다는 것이다.

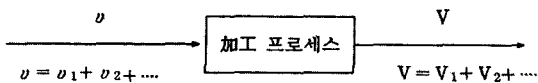


Fig.17-4 Relationship between input and output during process

가격의 증축이란 $V > v$ 가 항상 성립한다는 것이고, V 에서 v 를 뺀 차를 부가가치라고 부르는데 엄밀히 말하면, $V_1 - v_1$ 다시 말해서, 제품가치에서 소재비를 뺀 것을 조부가가치(粗付加價値) $V_1 - v$ 순부가가치(純付加價値)라고 하여 구별하며 부가가치를 높게 한다는 것은 V_1 을 크게 하고, v_1 또는 v 를 적게하는 것이다. 소성가공은 종래 대량 생산의 수단으로 고려되었으며 제조업에 크게 공헌하고 있는 실정이다. 대량 생산은 좋은 물품을 얻가로 제조하게 되므로 필연적으로 부가가치는 저하되는 경향이 있다. 가령 전기부품의 예를들면 Press가공되는 부품의 공장 출하가격 (V_1)에 점유되는 재료비 (v_1)가 90%라고 한다. 아무리 자동생산시스템에 의한 생산이라 할지라도 일반관리비나 전기세등 ($v - v_1$)을 고려할 때 기업에 남는 이익은 거의 없게된다. 이와같이 극단적인 예를 제외하더라도 소성가공된 제품에 대한 부가가치가 적다는 것은 사실이다. 일반적으로 소성가공된 제품은 부품이며 다음 공장에서 기계가공을 거쳐서 조립되어야 한다. 여기에서 소성가공의 Process에서 입출력을 지수

Distinguishing features	Belt-operated drop-forge hammer		Chain-operated drop-forge hammer	Board-operated drop-forge hammer	Piston-lifted drop-forge hammer	Power-assisted drop-forge hammer	Dual-action drop-forge hammer
	a Winding motion	b Slip motion	Winding motion	Slip motion	Steam, pneumatic or hydraulic operation		Steam or pneumatic operation
1 Work capacity $E = \frac{1}{2}mv^2$	mgh	mgh	mgh	mgh	mgh	$mgh + A \int \rho(h) dh$	$A \int \rho(h) dh$
2 Coupling	Brake linings	Pulleys, rollers	Friction coupling	Board rollers	(Valve)		
3 Lifting element	Belt		Chain	Board	Piston rod	Piston rod	Piston rod
4 Pressure element							Steel belt
5 Energy store	Flywheel				Pressure tank		

A piston area
 ρ pressure
 m mass of tup
 h height of drop
 v velocity
 g gravitational acceleration

Fig.17-5 Forms of drop-forging hammer construction

(Exponent)1로 하고 기계가공등 다음 공정의 Process에서의 지수를 2로 표시하면 $V_1^2 = v_1^2$ 로 표시할 수 있다. 따라서, Process1에서 Process2를 거쳐가는 부품의 부가가치는 $V_1^2 - v^2$ 또는 $V_1^2 - v_1^2$ 으로 되므로 다음 공정의 Process를 허용할 수만 있다면 소성가공품의 부가가치는 올라가게 된다. 차공정의 Process를 허용할 수 있는 정도의 고정도를 얻기 위해서는 소재 이외의 경비 ($v_2^2 + v_3^2 + v_4^2 + \dots$)의 상승을 생각할 수 있으나 이것은 부가가치의 상승분보다 적게 해야한다. 소성가공에 있어서 고정도가 나아가서는 Near net shape화, Net shape화의 필요성이 여기에 있는 이유이다. 근래에 와서는 입력측의 인건비의 상승 또는 출력측의 산업폐기물의 처리비용 사용기간이 다 된 제품의 재활용 또는 Scrap처리 에 요하는 비용등이 무시 못하게 되었다. 여기서,

$$V_1 > v - (V_2 + V_3 + \dots)$$

가 요구된다. 제품/부품의 고부가가치화에는 고정도화가 유효한 해결법의 하나이다.⁽²⁾

17-3. 낙하해머(Drop Hammer)

Drop Hammer는 Die forging에 사용되고 변형속도가 빠르므로 매우 얇은 판으로까지 소재를 변형시킬 수 있고 Energy-constrained인 기계 Group에 속한다. 이

기계는 완전 Plastic한 소성변화를 하는 동안 Ram이나 Tup는 Kinetic energy가 완전히 소성작업에 사용되면 정지상태로 돌아간다. 여러 종류의 Drop hammer의 구조를 Fig.17-5에 표시하였다. Tup을 옮기는데 사용하는 여러가지 Mechanism에 의해서 이름을 달리하는데 Belt-driven, Board, Chain, Hydraulic drop Hammer등이다. Hammer의 성능을 올리려면 Upper tup과 Lower tup이 같은 속도로 움직이게 하면된다. 이와같은 운동은 Dual-action drop hammer이며 Mechine base에 반력이 발생하지 않는다는 것도 큰 장점이다.

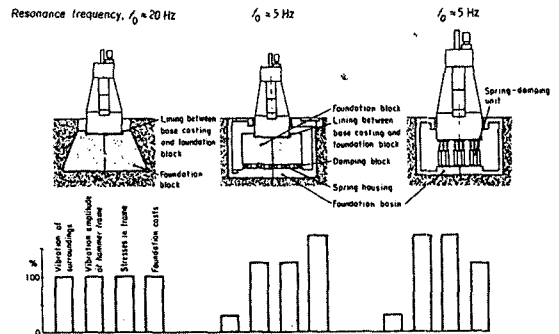


Fig.17-6 Vibration insulations for forming machines

Drop hammer에 의한 큰 진동은 공장내와 주위에 크게 방해할 하게 된다. 따라서, 기계를 설치할 때 크게 주의해야하며 가능한 세가지 방법이 Fig.17-6에 표시하고 있으며 그 각각의 방법의 장단점을 비교하고 있다. 좌측의 경우에는 공진 진동수(Resonance frequency)가 높은 20Hz이며 주위에 미치는 진동, Hammer 구조물에 대한 진동폭, 구조물에 미치는 응력(힘), 기계 기초를 구축하는데 필요한 경비를 동일하게 100%로 정하고, 중간에 예들과 비교한 결과 주위에 미치는 진동은 현저하게 적어졌으나 기초 건축비가 높아지고 있다. 나머지 우측의 경우에는 중간과 같이 진동수가 5Hz이지만 주위에 미치는 진동은 적고 또 경비도 전것과 비해 적지만 Hammer가 구조물에 미치는 진동과 응력이 커진다.

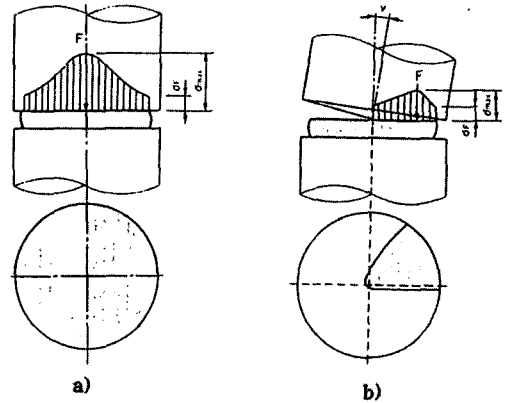


Fig.17-7 Conventional(a) and Wobble forging(b)

17-4. 요동단조(Wobble Forging)

공작기계, 시계, 전기제품에서는 치차(Gear)가 소멸되고 있지만 자동차용 변속기에서는 많은 치차가 사용되고 있다. 최근에 개발된 치차가공기에 주목할 만한 것이 요동단조(Wobble forging)이다.⁽³⁾ 이 냉간 요동단조법은 종래의 방법과 새로이 개발된 방법을 Fig.17-7a,b에 비교하였다. 종래의 냉간성형에 있어서는 금형 표면의 마찰저항이 가압되어 방사형으로 확대되어 갈려고 하는 재료의 흐름을 저항한다. 가압된 하중은 가압축의 축심부가 높고, 가공부품의 외주끝으로 가면서 점차적으로 작아진다. 최대 응력(σ_{max})은 소재의 항복점(σ_F)의 수배가 된다. 냉간성형에 있어서는 가압력은 소재의 전체면에 걸쳐서 한번으로 압력이 가해지지만 표면상의 마찰저항이 약해진다는 것을 의미한다. 그리고, 상부 금형(Upper Die)은 소재주위를 둘러가면서 마찰을 일으키게 되므로 금형 표면상의 마찰저항력은 실질적으로 매우 약해진다. 그렇기 때문에 요동단조시 최대 응력(σ_{max})은 소재의 항복점(σ_F)과의 차이는 거의 없는 것으로 본다. 따라서, 요동단조의 특징은,

- ① 적은 가압력으로 큰 변형능력을 얻을 수 있는 Machine의 Compact화
- ② Tooling cost가 저감화
- ③ 소음과 진동의 저감화

이외에 요동단조는 매우 높은 가공비($\phi = 2.8$)를 얻을 수 있으며, 이것은 고가인 금형(Die)을 이용할 필요가 없다는 것을 의미하며 요동단조는 다품종소량의 부품가공이라도 경제적으로 생산할 수 있다는 것이다. Fig.17-8에서 보는 바와같이 소재는 요동하는 상형(上型)과 가압

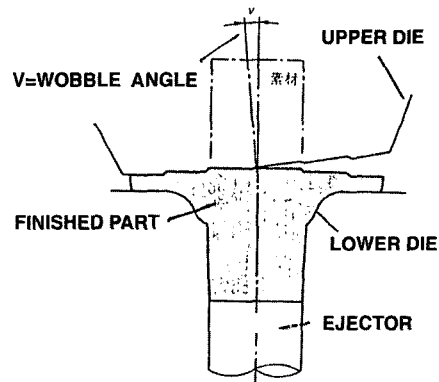


Fig.17-8 Principles of wobble forging

하는 하형(下型) 사이에서 변형된다. 따라서, 성형압은 소재의 일부분에만 한정적으로 가공되어간다. 또 하형으로부터의 가압거리도 이 요동 Motion에 맞추어서 이동한다. 상형은 이동하는 것이며 회전하는 것이 아니다. Fig.17-9에 변형공정을 보이고 있다. 하형은 회전 또는 이동되어 좌측의 위치에 선다. 다음 요동 운동으로 최종 성형에 필요로 하는 20%의 압력이 가해지고 다음에 70%, 최후에 성형이 완료되면 좌측으로 이동한다. Fig.17-10은 요동단조의 기본구조와 상형의 요동 Motion의 제어 Mode를 그리고 있다. 여기에 4가지 Mode를 소개했으나 어떤 Mode를 선택하려면 대상 Work를 Trial해서 결정한다. 요동각(v)이 요구되는 압력에 의해서 결정되는데 최대 2° 이다. 요동각을 증가시키고 요구압력을 같이 했을때 Cycle time이 적어진다. 이

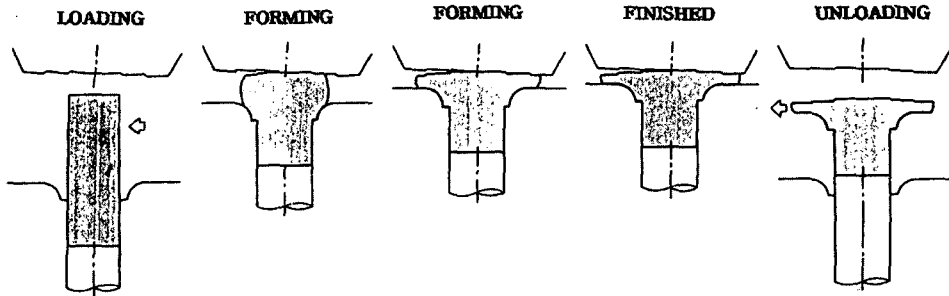


Fig.17-9 Sequential processes of wobble forging

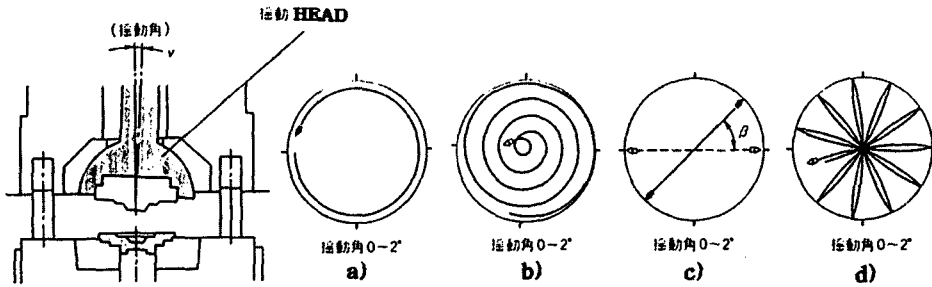


Fig.17-10 Modes on upper die of wobble forging
a) Rotation b) Spiral c) Straight d) Dazzie

것은 요동회수가 적어지기 때문이다. 요동각을 2°에서 1°로 적게했을 때, Cycle time은 1.5배로 커진다. 요동각은 Work의 직각도와 평면도에 중요한 역할을 한다. 생산량을 증가시키려면 가능한 최대의 요동각을 선택해야 한다. 냉간성형은 소재의 인장강도(Tensile strength)도 경도(Hardness)를 증가시킴으로서 Work를 Hardening시킨 상태로 만든다. 이것은 염가인 합금강을 사용하더라도 고합금강과 유사한 인장강도와 경도를 얻을 수 있다는 것을 말한다. Fig.17-11에는 요동단조에서 단조 후의 인장강도의 변화상태를 나타내고 있다.

한 것으로 볼 수 있다. 제품 공차의 개략치도 Hammer Forging은 10mm, 열간형단조가 1mm인 것에 비하여 냉간 단조는 0.1mm이하이다. 최근에는 온간단조나 열간의 정밀단조가 증가하고 있으나 이와같은 단조방법은 냉간 단조와 같이 금형에 의한 구속이 큰 정밀가공법이며 제품의 증량이 큰 부분에도 정밀단조가 채용되어가고 있다. 단조

17-5. 정밀소성가공의 현주소

1) 고정밀화의 경제성

소성가공의 역사적 발달과정을 보면 Fig.17-12와 같이 1945년 이전에는 Hammer에 의한 열간단조(熱間鍛造)가 주체이었으나 점차 열간형단조(熱間型鍛造)로 대체되고 1960년 이후에서 소형부분은 냉간단조(冷間鍛造)가 증가되고 있다. 이것은 금형(金型, Die)에 의해서 구속이 적은 저정도의 단조로부터 구속이 큰 정밀한 단조로 변화

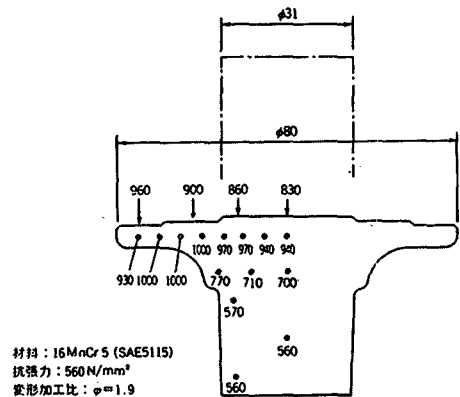


Fig.17-11 Strength change after wobble forging

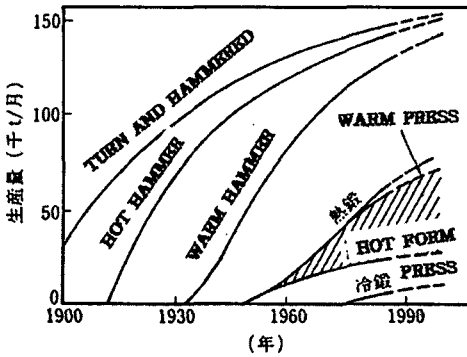


Fig.17-12 Development trend of forging processes

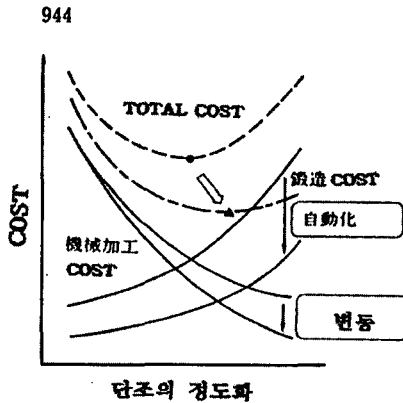


Fig.17-13 Forging accuracy vs total production cost

제품의 정도를 향상시키기 위한 경제적인 면에서 설명하면 Fig.17-13과 같이 된다. 단조품의 정도를 올리기 위해서는 단조를 위한 비용이 가속적으로 상승하지만 기계가공에 의한 Finishing 가공비는 저하되거나 불필요하게 된다. 따라서, 전체 비용을 최소화하기 위해서는 최적한 단조 정밀도가 존재한다. 단조품의 정밀도가 향상된 직접적 원인은 더욱 정도가 높은 단조를 경제적으로 가공할 수 있는 방법이 개발되었다는 것이다. 다른 관점에서 보면 단조법이 자동차 부품의 대량제조법으로 채용되었기 때문에 Chip이 되어버리는 재료를 절감한다는 것이 경제성을 크게 했다고 보고 또 피질삭성이 불량한 재료의 Finishing하는 비용이 많이 필요하게 되었다는 것이 정밀단조의 개발을 촉진시킨 결과라고 볼 수 있다.⁽⁴⁾

2) 고정도화(高精度化)의 방법

단조제품의 정도를 올리기 위해서는 다음과 같은 사항을 생각할 수 있으나 다 비용 상승을 가져온다.

고정도 가공설비: 가공 하중에 의하지 않고 가공 타격 할때마다 Press 구동부(Ram)로 정해진 위치에 고정도로 정지할 수 있는 설비가 필요하다. 이것은 Press의 강성을 높게 하거나 고도한 제어기술이 필요하다. 고정성의 Press나 제어설비는 일반적으로 매우 고가이므로 강성이 높은 Die set를 사용하면 보통의 Press로 고정도의 소성가공이 가능하다.

고정도 금형: 고정도 가공에는 고정도의 금형이 꼭 필요하지만 금형의 정도를 올리려면 제작비가 고가되므로 CAD/CAM/CAE의 기술을 채용하여 금형의 설계, 제작의 Cost를 저하시키는 노력이 있어야 한다.

가공조건외의 균일화: 소재의 치수, 재료특성, 윤활조건 등으로 인한 가열조건이 변하기 쉬운 것을 저감시켜 제품을 균일한 치수로 하기 위하여 가공중에 Computer제어에 의해 정도를 적극적으로 보정시키는 것이 채용되어야 한다.

지금까지는 단조제품의 고정밀화에 긴요한 요인이 단조 방법의 개발, 공구재료, 윤활유, 소재의 진보가 중심이었으나 앞으로는 Computer의 변천이 중요한 역할을 하게 될 것이다. 즉, 정보제어기술의 진보에 따라서 설비의 제어와 감시, Simulation에 의한 시행착오 회수의 감소, CAD/CAM의 이용에 의해서 인건비를 절감시켜 정밀단조의 경제성을 대폭 높게 할 수 있게 되어가고 있다.

3) Net shape 소성가공

「Near net shape forming」이란 용어를 1980년대에 쓰기 시작하였다. 이 용어는 최종 현상(Net shape) 직전의 중간제품을 제작하기 위한 비교적 정도가 높은 가공법을 의미한다. 최근에는 금형을 사용하는 가공법으로 정도가 높은 부분을 제작할 수 있어 Near가 아닌 「Net shape manufacturing」이란 용어가 사용되고 있으며 미국 Ohio주립 대학에 T.Altan 교수가 소장을 하고 있는 Net Shape Manufacturing Research Institute가 1986년에 탄생되어 단조, Sheet metal 소성가공, 주조, Plastics forming등의 연구를 하고 있다. 여기서는 주로 단조방법만 언급하려고 한다.

(a) 냉간단조(Cold forming)

냉간단조는 Drawing, Press를 말하며 높은 압력으로 소재에 큰 소성변형을 주면서 공구면에 Sliding을 주게되므로 공구와 소재에 Burning이 발생하기 때문에 화성 피막(化成皮膜)을 사용하는 방법이 개발되어 강제의 냉간단조가 가능해졌다. 일본에 있어서의 자동차에 사용되는 냉간단조 부품의 중량이 1965년에 5kg에서 1980년 35kg,

1990년에 40kg으로 증가하고 있으며, 연 70만ton으로 독일 경우의 약 2배가 되고 있으며 Bolt와 Nut도 냉간단조 제품이므로 이것을 포함하면 냉간단조 제품이 연간 약 200만ton으로 추산되고 있다.

(b) 온간단조

온간단조의 기본적인 가공방식은 냉간단조와 동일하지만 소재에 600~800℃의 온도로 가열한다음 단조하기 때문에 변형저항이 저하되므로 가공압력을 내릴 수 있고 치수가 큰 부품과 강도가 높은 재료의 가공도 가능하다. 온간단조에 있어서는 냉간단조에서 사용되는 화성피막(化成皮膜)이 분해되는 것은 적용이 되지 않으므로 소재에 Graphite의 Coating과 공구에 수용성 윤활재를 대량 공급하므로써 냉각시키는 방법을 많이 사용한다. 이 방법은 1970년대에 개발된 것이며 자동차 산업에서는 냉간단조의 약 1/10정도가 이용되고 있다.

(c) 정밀열간단조

Hot forming이라고 부르는 수평형이 다단(多段)열간단조기는 냉간단조와 거의 동일하나 재료를 1000℃이상 가열시키고 가공한다. 이 방법은 Induction heater에 의해서 고속 가열을 하며 산화막이 부착이 적고, 고속으로 정밀단조가 가능하다. Hot forming의 제품개발은 Ring형인 부품과 Nut등으로부터 시작되었으나 매우 복잡한 제품도 생산할 수 있다.

(d) 폐쇄(閉鎖)단조

Closed die에 소재를 넣어서 성형시키는 방법이다.(Fig.17-14) 1980년초 중소기업을 위해서 개발되었고 Universal Joint와 Bevel gear의 생산에 적용되는 효과가 있었으므로 주목을 받았고 자동차 부품의 생산으로 보급되고 있다. 그러나, 부적절한 가공 Schedule에 의해서 Burr가 발생하고 가공압력이 너무 높아진다는 결점이 있으므로 이 방법에 의한 제품에 한정이 있다.

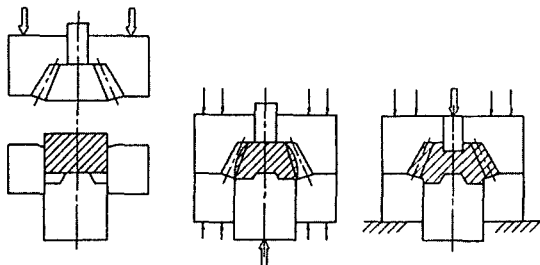


Fig.17-14 Closed die forging

(e) 복합단조

일반적으로 고정도의 형(型)가공을 실내온도하에서하면 Die에 의한 구속이 커지므로 가공 압력이 과대해지기 쉽다. 일반 가공온도를 올리면 가공력은 저하되지만 공구 및 소재의 열변형에 의해서 제품정도가 저하된다. 그래서 열간 또는 온간에서 가공한 후 냉간에서 끝마치는 단조를 하면 정도가 높아지므로 복합단조가 증가되고 있다.

(f) 공구의 탄성변형제어

단조에 있어서 금형의 제작정도가 높더라도 제품정도를 높게할 수 없는 경우가 많이있다. 그것은 높은 가공압력에서 발생하는 공구의 탄성변형량이 제품에 요구되는 정도의 범위이상으로 되기 때문이다. 길이 100mm의 강제 Punch에 100kgf/mm²의 축응력이 가해지는 냉간단조에서는 공구의 탄성변형량인 경우 0.5mm에 달한다. 또 Unloading할 때 제품의 Spring back도 무시못하며 제품이 강제인 경우 높이가 20mm일 때 Spring back량이 0.1mm정도가 된다. 소성변형시 발열이 200~300℃정도가 보통인데 제품이 냉각시 열변형은 0.04~0.06mm가 되고 공구에 열이 전달되어 공구의 불균일한 변형을 발생시킨다. 이와같이 공구와 제품의 탄성변형은 Near net shaping가공에서 요구되는 정도 0.005~0.05mm보다도 크다. 따라서, 이 변형은 FEM Simulation하여 미리 예측을 한 후 사전에 금형의 현상을 보정할 필요가 있다. 공구탄성 변형량을 적게 하기 위해서 탄성계수가 2배 이상되는 초경공구를 Die의 재료로 쓰면 된다. 이와같은 방법으로 Die를 제작했다 하더라도 가공력의 변동에 따라서 제품의 치수가 균일하지 않고 변동이 생긴다. 가령 상기한 가공력에 ±5%의 변동이 생기면 탄성변형량이 변동하여 ±0.025mm의 제품치수에 변동이 생긴다. 이와같은 문제에 대처하기 위해서는 가공중의 하중과 변형을 측정하고 공구탄성변형및 공구온도를 제어하면 고정도의 제품을 얻을 수 있다.

(g) 공구 탄성 변형의 제어

입출성형(Extrusion)할 때 가공압력이 높으면 공구의 탄성변형에 따라서 공구 출구의 직경이 커져서 제품이 굽어진다. 만약 입출압력이 상승할 때 공구를 외부로부터 조이게 되면 출구직경을 축소시킬 수 있으며 따라서 제품의 직경변동을 적게 할 수 있다. Fig.17-15는 이동 Die에 의해서 입출 가공의 치수제어이다. 외축 Die의 내경을 입출압력에 의해서 확대되지만 내축 Die는 출력에 의해서 하향으로 압출압력을 받아 이동함과 동시에 양 Die의 경계면의 반경방향분력에 의해서 내축 Die가 반경방향으로 압축된다. 내의 Die의 접촉부분의 Rake각을 적당히

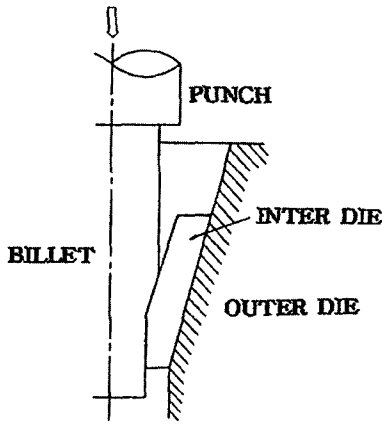


Fig.17-15 Interdie improves size accuracy in extrusion

설정하면 소재의 치수변동에 따르는 가공압력의 변동에 영향을 받지않고 제품의 치수를 거의 일정한 압출이 가능하다. 치수제어법과 유사한 방법으로 온도변화에 따르는 공구의 탄성변형을 제어한 Closed Die가공이 Plastic Lence의 성형에 채용되어 초고정도한 생산을 가능하게 하고 있다. 각종 정밀 소성 가공에 있어서 금형의 탄성변형과 온도분포를 제어한 가공법을 개발하는 것이 기대되고 있다.

(h) 다품종 소량생산

냉간단조 등의 정밀단조는 1만~100만개 정도의 대량 생산에 적합하고 소량생산에는 적합하지 않다고 보고 있다. 그 이유는 금형이 고가이기 때문이다. 금형의 일부를 교환할 수 있는 구조가 채용되어 금형을 경제적으로 생산할 수

있게 되었기 때문에 최근에는 수천개 정도의 Lot로 냉간단조도 많아졌으며, 소량생산은 더욱 활발해지고 있다.

17-6. 냉간과 온간의 종합 Extrusion

그림에서 보는 Axle journal을 연간 400000개를 생산해야 될 때 절삭가공을 하게되면 많은 재료를 없애게 되고 높은 투자를 해야하기 때문에 소성가공을 하게 된다. 재료가 CK48이므로 어려운 소성가공으로 취급하고 값비싼 화학계를 사용해야하고 또 도중에 가열장치를 통과해야 한다. 우선 냉간 Extrusion을 Fig.17-16에서 볼 수 있다. 여기서 보는 세가지 기호 △는 Annealing을 표시하며, ○는 화학물 인화물(燐化物), 유류등을 첨가하는 것이고 *는 상부로 올려 역행하는 Extrusion을 표시한다.

처음 소재를 Annealing하여 화학물을 첨가하면서 Extrusion을 하는데 그때의 3단계 Press 압력은 2800kN, 1600kN, 6800kN이 되고 한시간에 각각 1500개를 가공할 수 있다. 4단계에 들어가기 전에 미세한 Annealing하고 화학물을 첨가하고 역행 Extrusion을 한다. 이 때 사용되는 압력은 전보다 적은 4800kN이고, 시간당 1500개를 가공할 수 있다. 5단계에 있어서는 열이 냉각되어 있으므로 냉간가공이 될 것이지만 재료의 변형이 적기 때문에 압력은 적어진다. 이 Journal의 축 중심을 안전하게 하기 위하여 최후에 절삭가공을 하면 그림 우측에 보이는 그림과 같은 매우 정밀한 제품이 된다. 이 방법은 도달할 수 있는 정밀도가 독일 표준으로 IT7부터 11까지이지만 열과 화학제 사용으로 고가이다. 거기에 비해서 Fig.17-17에서 보는 것은 온간소성가공의 예를 볼 수 있다. 이 방법은 4단계로 소성가공을 끝낼 수

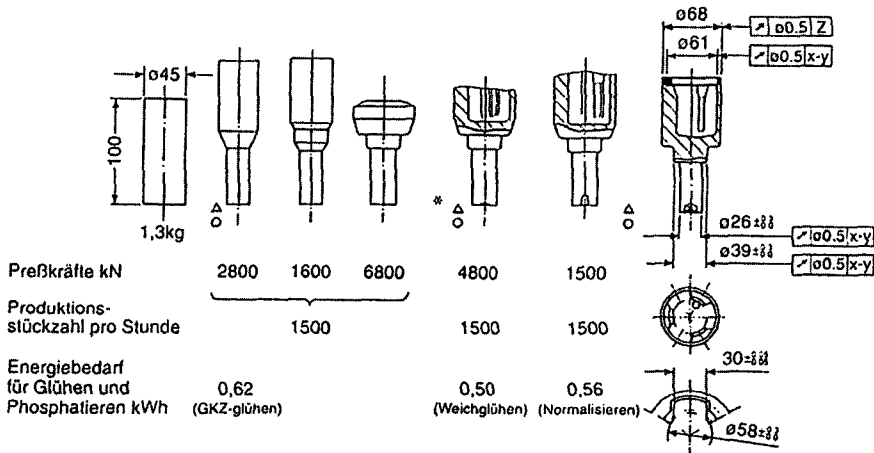


Fig.17-16 Cold extrusion process

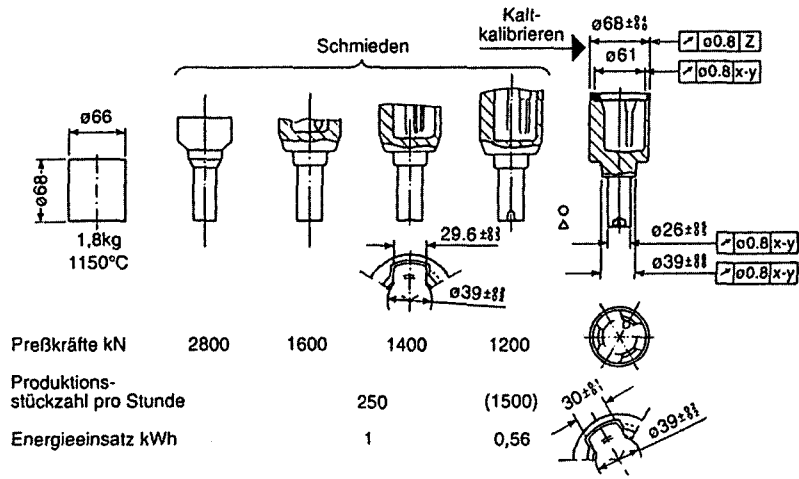


Fig.17-17 Warm extrusion process

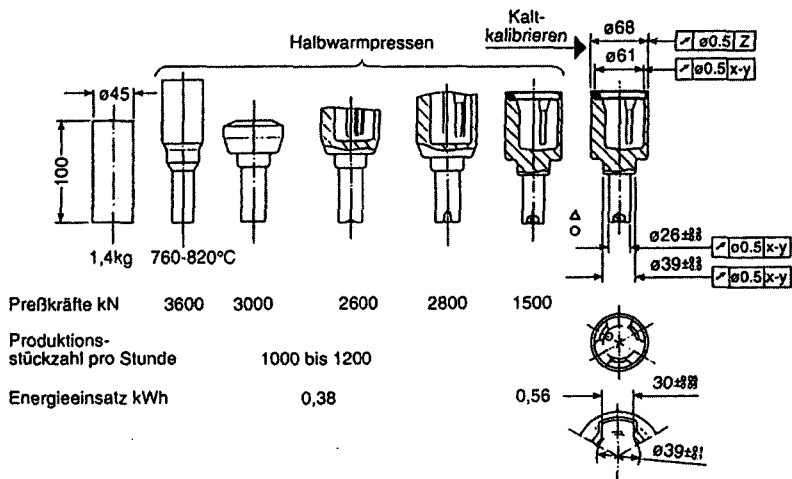


Fig.17-18 Combined half warm extrusion process

다. 소재를 1150℃로 가열을 하여 단조와 유사하게 Extrusion을 하는데 압력은 전에 비하여 월등히 적게 들지만 3단계까지 한시간당 가공할 수 있는 개수가 250개이다. 우측에서 보는 냉온도하에서 정밀하게 Finishing하기 위한 정밀 Extrusion은 두번 되풀이하여 완성시킨다. 전변과 비교하면 공정수가 적어졌으나 정밀도는 거의 같은 것을 알 수 있다. 제3의 경우는 Fig.17-18에서 볼 수 있다. 제1단계에서 760~820℃로 가열하여 Press한다. 5단계를 거치면서압력은 중간쯤되는 1500kN~3600kN이며 1000~1200개를 한시간에 완성시킬 수

고 최종 공정으로서 실내온도인 냉간 정밀 Extrusion을 하여 전과 비슷한 정밀도를 얻을 수 있고 역행(Backward) Extrusion은 사용하지 않는다. 이상 세가지 방법을 비교한 결과 제3의 경우 즉 중간의 가열온도(760~820℃)로 적은 Energy와 확확재를 적게 사용하며 역행 Extrusion을 사용하지 않고 정밀 Extrusion을 실내온도에서 할 수 있으니 가장 경제적인 것으로 증명이 되었다.⁽⁵⁾

17-7. NC-Spinning

Spinning 작업은 Spin rollign과 Metal spinning을

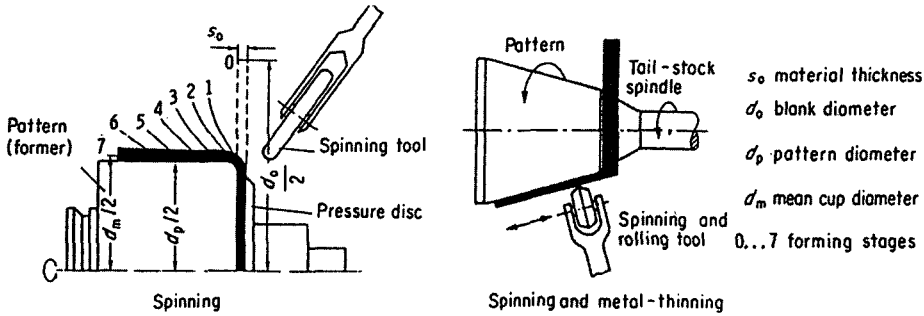


Fig. 17-19 Numerically controlled spinning machine

Sheet-metal disc를 축에 대칭되게 Wall의 thickness를 감소시키지 않고 Round한 공동(空洞)된 제품을 만드는 것이다.(Fig.17-19) 두 작업은 선반 작업과 유사하다. Spindle의 끝에 부착한 Chuck에는 가공할 물품의 내면 Pattern을 부착하고 있으며 Spinning 공구는 Tool post에서 지지되고 있다. Sheet-metal blank는 Tail-stock과 회전하는 Pattern사이에서 꼭 잡혀져 있다. 큰 기계는 80mm의 두께에 6m 직경의 Blank를 가공할 수 있고, 이 가공법은 몇번이고 Spinning tool을 되풀이하여 Pass함으로써 점차적으로 최종 형상을 만들 수 있다. 이 때 Spinning공구의 조작은 NC로 한다. 구라과, 미국에서는 항공기, 군수산업이 일찍이 발전하고 있으므로 NC Spinning 기계가 개발된지 오래이지만, 일본에서는 1970년후부터 발달하여 최근에는 관능성(官能性, Sensuality)이 있는 Sensor를 Fig.17-20과 같이 광학 Sensor와 Roller지지구에 부친 가공 3분력 Sensor겸 진동 Sensor(또는 AE sensor)를 부착시켜 여러 측정치를 검출한다.⁶⁾ 제어부에서는 검출 Data를 분석하여 상기한 선정가공조건으로 Feedback하여 수정을 하고 Adaptive control가공을 한다. 광Sensor는 Fiber optics로 보내지는 Laser 광선을 가공이 진행되고 있는 제품의 표면에 Spot lightening하는 Cylinder와 세계의 수광통을 구비하여 공구에 의한 Feedmark이거나 회전방향의 얇은 Slip 또는 미세한 결함을 검출한다. 또 진동 Sensor로서 압전형 가속도 Pick up을 사용한다. 실제로 고려할 수 있는 System은 Fig.17-21과 같다. NC Data작성부에서 AC제어부에 보내야 할 Data base의 전송방법이 연구대상이지만 처음 나타나는 Data를 거칠게(Roughly)주고 제어해야겠다는 생각이 일어난 것이다. 그러나, 가공장소와 이송속도에 의해서 변동하는 Roller의 압출력이 제어에 따라서 양호한 표면상태가 얻어지므로 실용

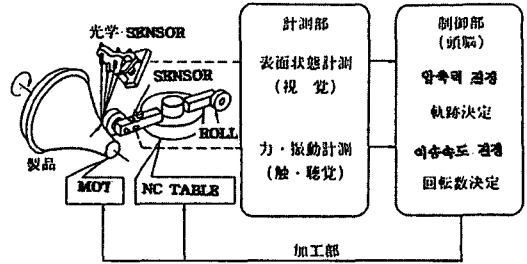


Fig. 17-20 Adaptive control of spinning process

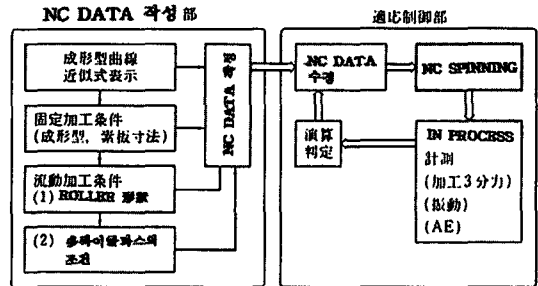


Fig. 17-21 Created NC Data and Adaptive control

기계에는 그와 같이 많은 Sensor가 필요하지 않을 것이다. Spinning의 정밀도는 Roller의 현상과 그 이송속도를 포함하는 여러 가공조건을 잘 선택하므로써 향상시킬 수 있고 Computer제어에 의해서 용이하게 되었으므로 고정도의 가공이 기대된다. Fig.17-22는 Truck용의 강성 Wheel disc를 Blank로부터 제작한 치수이다. 이 Disc는 소재직경 650mm, 두께 14mm의 강원한(Blank)을 2개의 Roller를 동시 작동하여 1pass로 가공을 완료시켰다. 이 가공의 원리는 Fig.17-23에서 보는 바와같이 단순한 원통의 가공을 Squeezing과 Spinning작업을 복

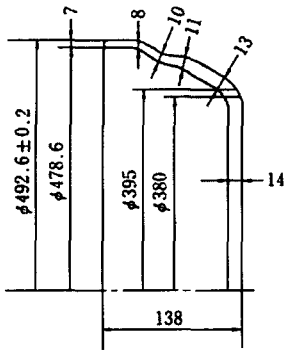


Fig.17-22 Dimension of wheel disc

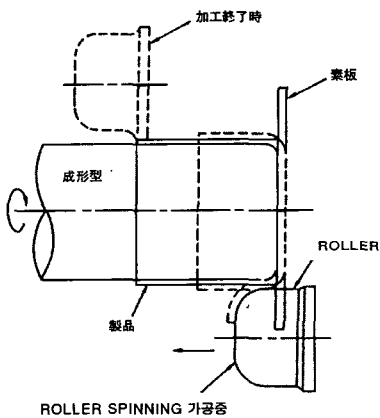


Fig.17-23 Combined process of spinning and squeezing

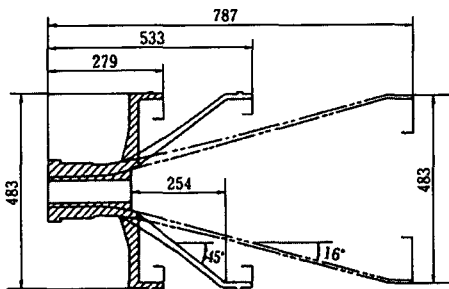


Fig.17-24 Spinning process in turbine shaft

합시킨 것이다. Roller의 위치 제어가 가능하므로 변동된 Wall의 두께 정도를 확보한다는 것이 용이하다. 과거와 같이 Taper ring milling으로 미리 두터운 원반을 만들어 Press 가공하는 것보다 고정도의 부품을 얻을 수 있다. 직경 $492.6 \pm 0.2\text{mm}$, 두께 $t_0^{+0.3}$ mm가 확보된다. 과거에는 다조한후 절삭으로 완성시킨 것을 절삭대신 Spinning으로 완성시키면 절삭으로 아까운 재료를 버리지 않아도 된다. Fig.17-24는 Turbine shaft를 단조한 소재를 1 pass로 Spinning하여 중간과 같이 변형시키고 다음 2 pass로 우측과 같이 완성품을 가공시켜 귀중한 재료를 절삭으로 버리지 않고 또 노동력을 절약한 Spinning의 가공 특징을 증명하였다.

17-8. 소성가공의 새 개발사례

a) 자동 Deep drawing

Gas의 사용개량기의 Husing을 700℃의 열에 대한 저항력이 있어야 하고 사용하는 철판의 두께가 1mm, 폭은 450mm이다. 이 철판에 1000kN의 Eccentric press로 Blanking한 후 3개의 Hydraulic press로 보내진다. 이 Process를 보면 Fig.17-25와 같이 5 Operation으로 완성된다.⁽⁷⁾ Blank는 1단계에서 Deep drawing할 때 발생하는 힘은 제1공정에서는 400kN의 Drawing 힘으로 Blank를 Husing형으로 변형시키고 제2공정에서는 정밀 Drawing으로서 정밀하게 Form을 다듬어 놓고 제3공정에서는 Edge를 다듬고 Flange에 구멍을 뚫는데 1600kN의 압력이 필요하다. 제4공정에서는 Frame을 성형시킨후 그 상면에 구멍을 뚫는다. 제5공정에서는 Frame에 구멍을 뚫고 Collar를 Drawing하여 완성시킨다. 이상과 같이 5공정을 능률있게 하기 위해서 Fig.17-26과 같이 3개의 Hydraulic press가 설계되어 있다. Blank를 운반시키는 장치는 Magazine을 이용하고 한 공정이 끝나면 다음 공정으로 이송시키는 자동장치가 작업을 중단하지 않고 진행되게 설계되어 있어 1분동안에 10개를 생산할 수 있다.

b) Sheet metal 자동 Shearing

Fig.17-27에서 보는 바는 독일 H회사에서 개발한 Sheet metal을 여러 형태로 Shearing하는 장치이다.⁽⁸⁾

- ① Sheet metal coil을 적재하여
- ②로 보내면 거기서 Sheet metal은 펼쳐서
- ③으로 간다
- ④는 정밀하게 Sheet metal의 위치를 정하게 하여
- ⑤에서 Cross 절단한다

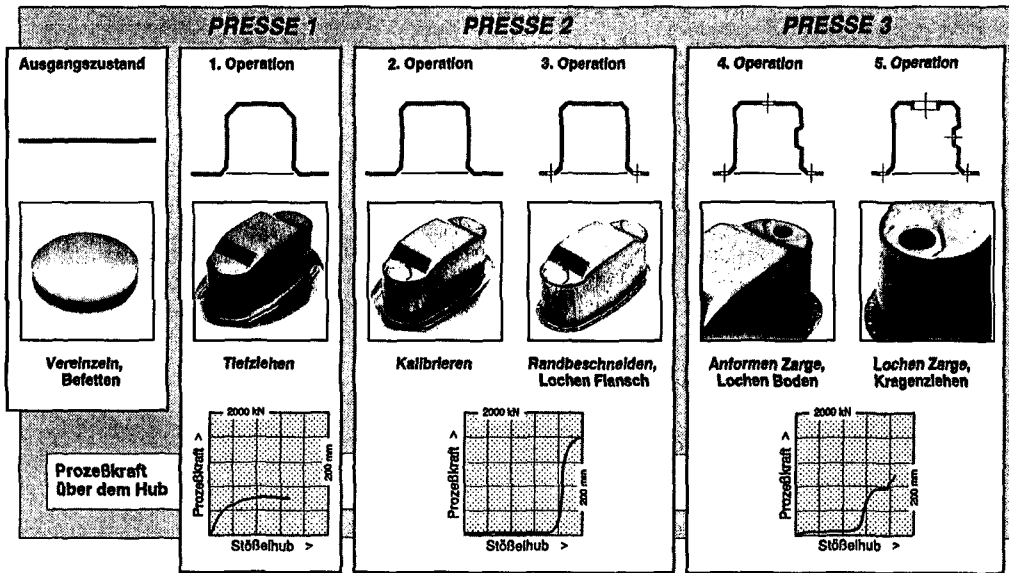


Fig.17-25 Sequential processes of deep drawing

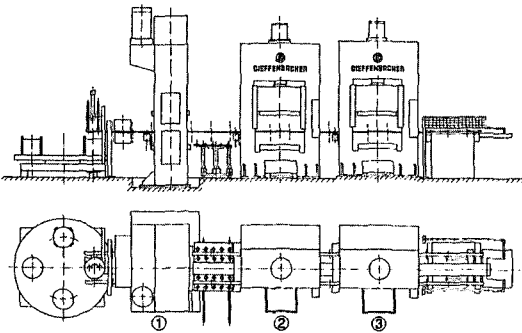


Fig.17-26 Compounded deep drawing machine

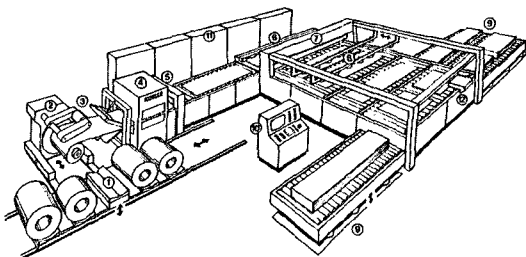


Fig.17-27 Automatic sheet metal shearing system

- ⑥이것을 잡아서 보내면
- ⑦에서 종적으로 절단하고
- ⑧에서는 자유스럽게 놓고
- ⑨에서는 Shear된 Sheet metal을 싸놓게 된다
- ⑩은 그림을 보면서 조정하는 곳이고
- ⑪은 전기 시설이며
- ⑫에서는 Sheet metal 기호를 찍는 곳이다.

이 시설로 5가지 종류의 Coil을 취급할 수 있고 절단정밀도는 $\pm 0.1\text{mm}$ 이고, 길이 6000mm까지의 재료를 1분간에 18개를 절단할 수 있다.

c) 새 Eccentric press의 특징

Fig.17-28에서 보는 Eccentric press에는 Over load에 대한 안전장치가 있다. ⑩ Eccentric의 구조에 의해서 Motor의 회전이 Tappet을 상하로 움직이게 하는데 ⑩에는 압력이 가해지는 Piston이고 ⑤는 Cylinder이다 ③은 Oil이 잠겨있는 Bolster이다 ④는 안전장치의 Valve이며 PH는 압력을 감소시키고 PV는 압력을 주는 Valve이다 ②는 주 Valve이다.

Press가 너무 강하게 작동되었을 때는 Valve를 통하여 Tappet에 압력을 조정하게 하여 Press 작업이 안전하게 되고 있다.

Eccentric press에서는 운동의 Stroke의 길이에 의해서 여러가지 Press의 성능을 바꾸게 된다. 적절한

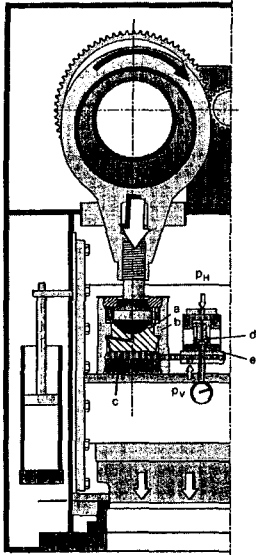


Fig.17-28 Overload protection device for eccentric press

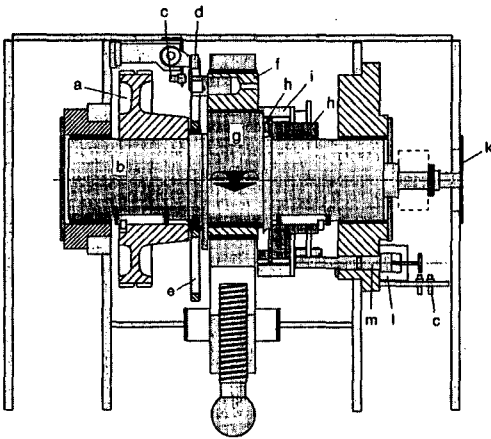


Fig.17-29 Eccentricity adjustment for eccentric press

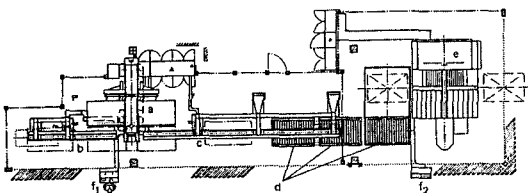


Fig.17-30 CNC-Sheet metal fabrication system

Stroke에 의해서 재료의 넓이, 공구의 상하운동의 종류와 길이, 최초로 재료에 부딪히는 속도, 소성가공속도, Press의 구동장치에 주는 부하, 재료를 넣고 빼내는 시간 등이 결정된다. 따라서, Stroke의 길이를 조절할 필요가 생기며 그 조정 방법이 Fig.17-29에서 알 수 있다. 그 조정은 Eccentric양을 조정함으로써 가능하다. 양쪽에서 조이면서 전체 Eccentric을 원하는 양으로 만든다.

d) CNC Sheet metal 가공장치

사무실에서 사용되는 Sheet metal재 제품가공을 64k Byte의 Programm이 가능한 CNC로 Fig.17-30에서 보는 System을 제어하고 있다. (10) @는 Sheet metal을 Punch하는 장소로서 재료가 1300*2500mm의 넓이를 250kN로 직경 76mm의 Punch를 할 수 있다. 두 개의 재료의 치수 측정장치가 있으며 Punch가 된 소재는 (11)의 Roller를 통하여 (12)Bending center로 운반되어 그 곳에서 Bending이 완료된다

f_1 은 Punch하는 작업을 지시하는 Desk이며 f_2 는 Bending작업을 제어하는 Desk이다.

e) Sheet metal가공에서의 공구관리

해외에서 증가되는 경쟁과 생산 Lot의 감소와, 제품의 life cycle이 적어지고 따라서 생산의 다중화가 Just in Time 생산을 강요하고 있다. 공구관리를 포함하는 유연 생산(FMS)가 그 해결책의 하나이다. (11) Fig.17-31은 독일 SIEMPELKAMP회사에서 개발한 Truck용의 소성가공 시설을 그리고 있다. 여기서는 자동적으로 소재, 공구, 재료를 자동적으로 운반하는 장치가 있으며 모든 필요한 Data가 저장되어 있는 Data bank가 구비되어 Press를 조정하는데 도움을 주고 있다. 이 Data bank는 항상 새로운 Data를 개정하여 저장한다. 이 공장의 정보 System을 보면 Fig.17-32에서 알 수 있다. 위에서 세번째의 Control level에서는 제어장치 SPS를 통하여 시작, 종료, Valve, 절전장소, Wagen, 모터, Servie-booking 등을 제어할 수 있다. (12)는 Programming하는 장소 (13)는 Host-computer (14)는 Printer, alarm (15)Performance control box (16)Terminal (17)System감시장치이다.

급속가공 FMS와 동일하게 소성가공 공장에서도 FMS의 도입이 되고 있는 실례이다.

17-9. 결 론

1. 소성가공은 가공온도에 따라서 냉간소성가공과 온간소성가공으로 분류한다.
2. 또 Energy와 운동제한 관점으로 여러가지 소성가공

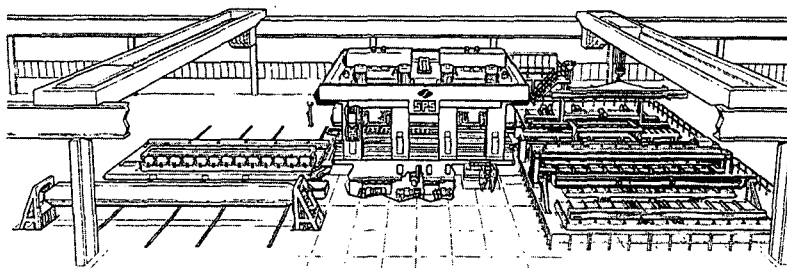


Fig.17-31 Production plant of truck manufacturing

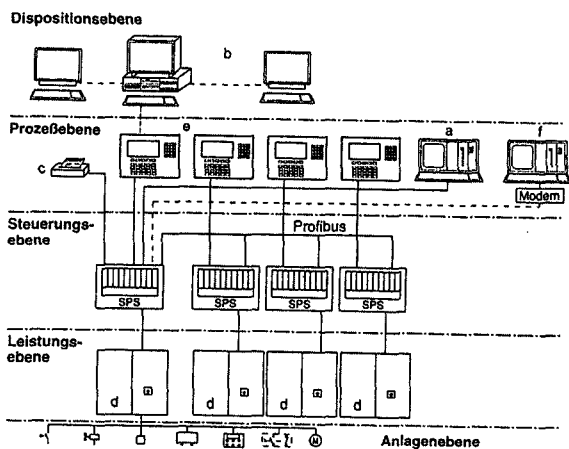


Fig.17-32 Information network for plant in Fig.31

기계를 분류할 수 있다.

3. 소성가공의 부가가치는 Finishing작업을 적게, 정밀하게 하면 올라간다.

4. 요동단조는 보통단조보다 여러 장점이 있다.

5. 여러가지 정밀 소성가공에 대하여 검토하였다.

6. 냉간과 온간 종합 Extrusion이 여러 잇점이 있다.

7. NC-Spinning에 대하여 논하였다.

8. 여러가지 새로 개발된 소성가공을 소개하였다. 자동 Deep drawing, 자동 Shearing, Eccentric press의 특징, CNC-Sheet metal가공, 공구관리등이다.

참고문헌

1. M. Weck, "Handbook Machine Tools Vol.1"
John Wiley & Sons, 1984

2. 速藤順一, "塑性加工製品の高精度化の運動" 精密工學會誌 58/6/1992 pp.934-937

3. 川崎 芽樹, "自動車 變速機用 齒車の 塑性加工と計測技術" 應用機械工學, 1990/2 pp.121-128

4. 小坂田宏造, "鍛造における 精度とニアネットシェイプ化" 精密工學會誌, 58/6/1992 pp.943-947

5. E. Körner, "Achszapfen durch Halbwarmfließpressen kombiniert mit Kaltfließpressen fertigen" Werkstatt und Betrieb, 126(1993) 10, pp.615-618

6. 葉山益次郎, "複合加工技術としてのスピニングの新たな展開" 精密工學會誌, 58/6/1992 pp.960-963

7. K. J. Pahl, "Gaszählergehäuse auf einer Pressanlage automatisch fertigen" Werkstatt und Betrieb, 127(1994) 9 pp.704-708

8. "Blechzuschnitte bedienerarm und auftragsbezogen fertigen" Werkstatt und Betrieb 125(1992)4 pp.276

9. E. Harsh et al, "Anforderungen an zeitgemässe Pressen" Werkstatt und Betrieb, 127 (1994) 9 pp.697-701

10. R. Wiegand et al, "Flexible Automatisierung der Blechbearbeitung bringt strategische Vorteile" Werkstatt und Betrieb, 124(1991) 11 pp.889-891

11. B. Stein, "Werkzeug-Verwaltungssysteme in der Blechfertigung" Werkstatt und Betrieb, 126(1993) 10 pp.607-614