

금속의 온간 단조 기술 현황



이정환
(KIMM 재료공정연구부)

'80 한양대학교 정밀기계공학과 졸업(학사)
'82 연세대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사)
'95 홍익대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사)
'82-현재 한국기계연구원 선임연구원



이영선
(KIMM 재료공정연구부)

'91 충남대학교 기계공학과 졸업(학사)
'93 충남대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사)
'93-현재 한국기계연구원 연구원



박수백
(창원공업(주), 기술부)

'84 창원공업(주) 입사
'84-현재 기술부 과장

1. 서론

단조는 재료에 소성 변형을 주어 재료 결합과 편석된 불순물을 제거 또는 눌러 잘게 부수거나 확산시켜(재료단련) 재질 개선을 도모함과 동시에 필요한 형상을 만드는(형상부여) 가공법으로 복잡 형상을 단시간과 단공정으로 성형하는 것이 가능한 생산성이 높은 공정이다. 그림 1은 온·냉간 단조기술의 과거·현재·미래를 제품과 기술의 예를 들어 도식화한 것이다. 일반적으로 단조 소재의 온도에 따라 냉간, 온간, 열간 단조가 구분이 되는데, 온간 단조는 냉간과 열간의 중간 온도인 200℃~800℃ 온도범위에서 행해지지만 경우에 따라서는 1000℃까지 확대해서 생각할 수도 있다. 냉간, 열간 단조와 비교한 온간 단조의 특징은 다음과 같다.

- (1) 제품 정도가 냉간 단조와 같이 높다.
- 온간 단조품의 정도는 종래의 열간 단조품과는 비교가 되지 않을 정도로 개선되어 냉간 단조품과 거의 같은 정도로 할 수 있다. 또 산화막의 발생이 적고, 금형의 마모도 열간 단조에 비해 적은 점등에서, 표면 조도도 10~60μm CLA로 양호하고 이 때문에 제품 단조시의 후피면 상태로 절삭 없이 사용하는 예도 많다. 열간 단조로 발생하는 소재 표면의 탈탄도 온간 단조에서는 발생하지 않기 때문에 단조후의 열처리 면에서도 후피 사용의 가능성은 확대된다.
- 또 절삭없이 연삭이 후가공으로서 필요한 경우라도 그 가공 여유는 소재 정도가 높기 때문에

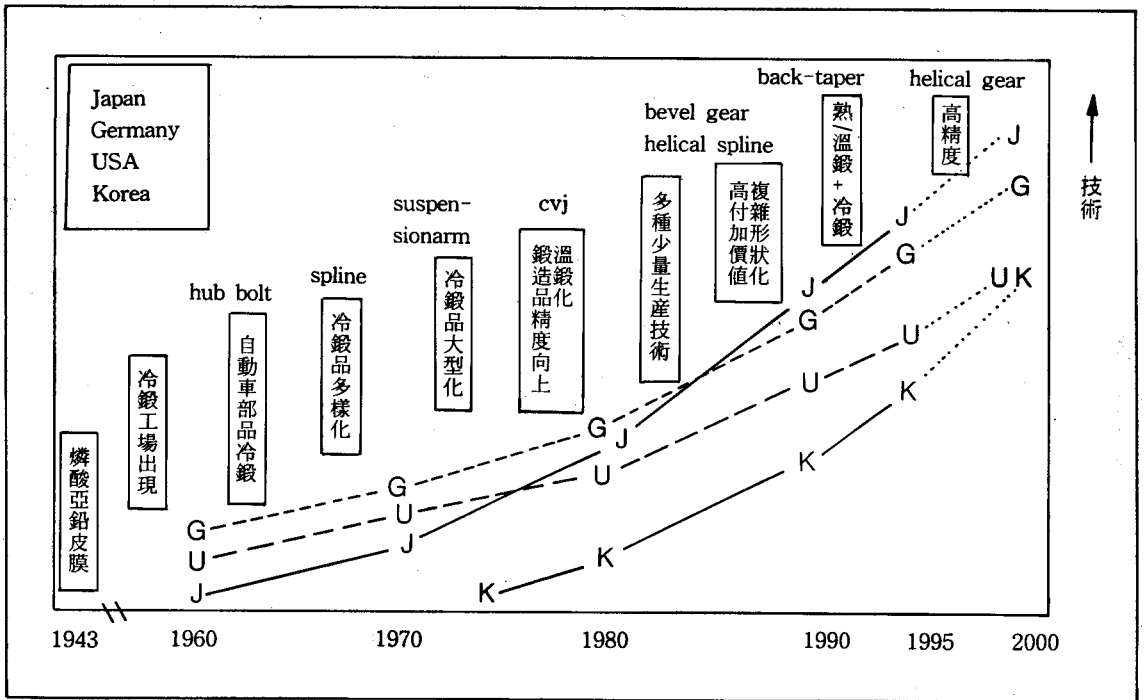


그림 1. 온·냉간단조 기술의 개발추이

최소로 할 수 있고 절삭 공정의 효율화를 용이하게 꾀할 수 있다.

(2) 재료의 회수율이 좋은 점

열간 단조에서는 스크랩인 거스러미가 투입 재료의 20~30%나 발생하지만 온간 단조에서는 현저하게 줄어든다. 또 빼기 구배(Draft Angle) 등 절삭공정으로 제거해야 할 가공 여유도 적을 뿐 아니라, 소재의 가열 온도가 높으면 발생하는 산화막 발생도 거의 무시할 수 있어, 소재 단계에서의 재료 회수율이 열간 단조품에 비해 현저하게 향상한다. 더욱이 절삭 가공 여유의 저감과 흑피 사용까지를 고려한 완성품에서는 회수율의 차이는 한층 확대된다.

(3) 에너지의 절약

열간 단조에 비해 온간 단조에서는 가열 온도가 낮은 만큼 가열용 에너지가 적다. 또 거스러미

로 제거될 Scrap분의 가열이 불필요하기 때문에 에너지 절약 효과는 더욱 증대된다. 소재 가열에 필요한 에너지에 비하면 변형저항 증가에 의한 성형용 에너지의 증분은 적기 때문에 단조 공정 만으로도 충분한 에너지 절약 효과가 발생하지만, 더욱이 절삭 공정의 생략에 의한 효과까지 생각하면 에너지 절감은 한층 현저하게 된다. 냉간 단조와의 비교로는 냉간 단조 공정에 필요한 가공 전과 가공 중간의 연화 소둔과 온간 단조의 가열 에너지가 대상이 되지만 구상화 소둔에서는 A₁점 부근에서의 가열을 장시간 필요로 하기 때문에 필요 에너지는 온간에서의 가열에너지 보다도 크게 된다. 또한 온간 단조에서는 재료의 변형능 향상, 변형 저항의 저감에서 냉간 단조 보다 적은 성형 공정으로 제품을 완성할 수 있는 경우가 많고 이 점에서도 에너지 절약이 된다. 결과적으로 소비 에너지는 냉간·열간과 비교하여 가장 적은 것을 그림 2에 나타내었다.

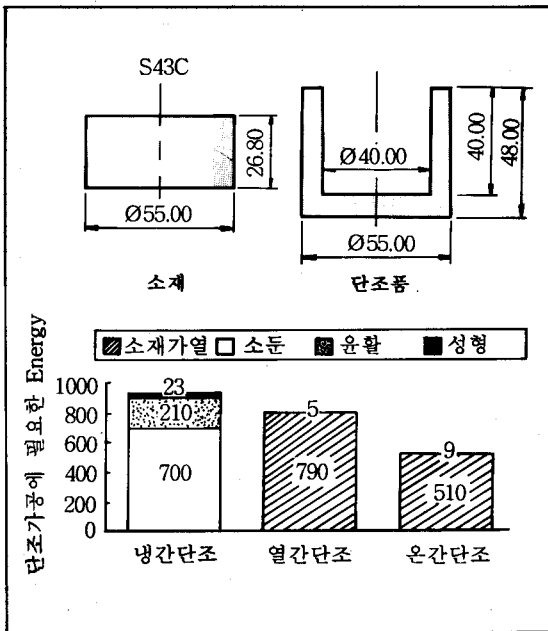


그림 2. 단조온도에 따른 에너지 비교

(4) 변형 저항의 저감, 변형능의 향상

상온으로 소재를 단조할 경우에 비해서, 온간단조의 온도역에서는 소재의 변형 저항이 낮아 질뿐 아니라 변형능이 향상한다. 이 때문에 냉간 단조에서는 공구에 걸리는 면압이 과대, 변형능 부족으로 제품에 균열이 발생하는 등의 이유로 성형할 수 없는 복잡형상의 제품과 고탄소강 등의 난 가공재도 온간에서는 적은 공정으로 성형이 가능하게 된다.

(5) 설비, 공장의 Layout

냉간 단조에서는 필요한 가공전과 가공중간의 전용로에 의한 구상화 소둔과 윤활 처리가 온간 단조에서는 불필요하기 때문에 공장의 설비수는 감소하고 이 때문에 그림 3과 같이 간결하게 되고 이송 과정도 운반의 Loss가 적은 공정으로 할 수 있다. 또 변형능이 향상하기 때문에 중간 소둔

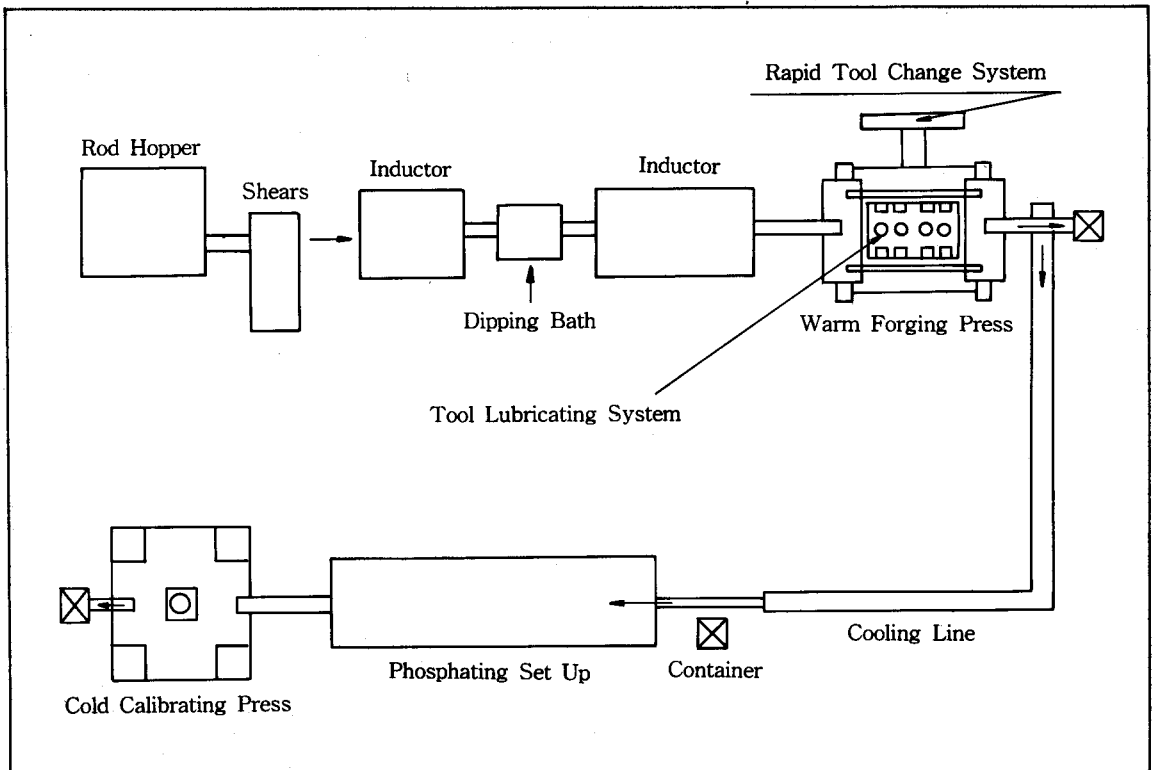


그림 3. 온간단조 생산라인 예

없이 다단 성형을 연속적으로 행할 수 있기 때문에 Transfer Press나 온간용 포머 1대 만으로 전 단조공정을자동으로 완료시키는 것이 가능하게 된다. 따라서, 공정 합리화에의 높은 기여도와, 단조 온도를 엄격히 관리하는 점에서 자동화 Press 사용의 필요성은 높다. 또 열간단조와 비교하면 대부분의 경우 거스러미 제거를 위한 트리밍 프레스를 생략할 수 있고, 거스러미가 없기 때문에 트랜스퍼 프레스내에서의 자동 이송이 용이하게 되는 이점이 있다. 이와 같이 온간 단조의 장점은 많고 완성품까지의 총합적인 원가 절감이 도모되기 때문에 주조, 소결 등의 경합 공정과의 비교에서도 단조업계에서는 확대가 기대된다. 그러나 실상은 생각 만큼 전개되지 않고 있는데, 그 이유는 종래 기술인 열간·냉간 단조에 비해서 시스템 전반의 조건 조절이 상당히 엄격하게 관리해야 할 필요가 있기 때문이라고 생각된다.

2. 사용 소재와 재료 특성

2.1 사용 소재

최근의 경우에 자원 및 에너지 절약의 시대적 요구에 부응하여 온간 단조용강에 대해서 연속 주조재의 사용이 확대되고, 또 제어 압연, Micro-alloying, 화학 성분의 최적화 등에 따른 열처리 생략형 기계구조용 강(소둔 생략·단축강, 비조질 강등)도 여러 가지 부품에 적용되기 시작했다.

소재의 종류도 표 1과 같은 철강 재료 뿐 아니라 비철 재료에 대한 수요도 늘고 있어 이러한 소재들의 재료특성 즉 변형저항과 변형능으로 평가되는 단조성 및 절삭성 외에 변형중 조직 변화에 따른 성형품의 기계적 성질, 침탄성, 결정 입도 등의 제품 특성을 충분히 파악해 두어야 하는 것이 중요하다.

표 1. 온간 단조용 재료의 화학 성분

강종	화 학 성 분												열 처리	경도 (Hv)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	W	Ti	Al		
S55C	0.53	0.26	0.70	0.025	0.005	0.21	0.02	0.11	-	-	-	-	열간압연상태	218~266
SK7	0.67	0.26	0.73	0.013	0.022	0.05	0.05	0.20	-	-	-	-	구상화 소둔 740°C×6H ~ 670°C×15H	167~181
SCM4	0.41	0.26	0.74	0.029	0.020	0.01	0.02	1.08	0.18	-	-	-	열간압연상태	285~306
SUJ2	0.99	0.31	0.44	0.013	0.013	0.05	0.04	1.46	-	-	-	0.025	구상화소둔 780°C×3~4H, 서냉 680°C×15H, 공냉	190~200
SUS304	0.04	0.57	1.52	0.033	0.021	0.01	8.67	18.3 3	0.05	-	-	0.023	용체화 처리 1050°C×30분, 수냉	167
SUS316	0.05	0.57	1.65	0.032	0.006	0.16	11.0 6	16.4 6	2.12	-	-	0.015	용체화 처리 1050°C×30분, 수냉	147
SUS403	0.12	0.43	0.84	0.019	0.003	0.05	0.08	12.2 3	0.01	-	-	0.018	완전소둔 830°C×1.5H, 로냉 670°C×5H, 공냉	177
SUH31	0.38	1.77	0.59	0.030	0.010	0.11	13.1 4	15.1 4	-	2.21	-	-	용체화 처리 1050°C×60분, 수냉	192~210
SUH36	0.52	0.10	8.56	0.029	0.069	0.05	3.43	21.6 6	-	0.44	0.00 5	-	용체화 처리 1050°C×30분, 유냉	270~286

2.2 소재 절단 정도

금형에 의한 구속 조건이 온간 단조에서는 반 밀폐 또는 완전 밀폐로 편치에 가해지는 응력이 커지므로, 소재 체적의 산포를 흡수하기 위한 방법을 금형에 부여할 수 있다 하여도 제품 중량에 거의 같은 일정 중량의 절단 정도를 가진 소재의 공급이 바람직하다. 또, 표 2에 나타낸 것과 같이 소재 절단면의 결함이나 평행도 등에 대해서도 주의하여야 하며 표 3처럼 중량오차는 $\pm 0.4\sim 0.5\%$ 정도까지 향상되고 있다. 그러나 일반적으로 열간 압연 강재의 직경 정도는 직경 28mm 이상에서 $\pm 1.8\%$ 의 허용차가 있으므로 매 롯트당 절단 길이를 엄밀하게 관리해야 한다. 엄격한 관리가 곤란한 경우에는 치수 공차가 정밀하지 않은 부위에 살 도피구를 두거나, 극히 소량의 Burr 발생

을 유도할 수 있도록 금형 설계를 하는 것이 좋다. 일부 강제 제조업체에서는 직경정도가 $\pm 0.2\%$ 정도의 정밀 압연재 생산을 생산원가와 관련하여 검토하고 있다.

2.3 예비 성형체 성형

단조 작업이 봉재에서 절단된 소재 그대로, 또는 단순한 업세팅 성형 후 이루어질 경우 금형 내 소재 위치 선정 정도(Setting)가 문제가 되고, 복잡형상 부품에서는 예비성형체 성형에 의한 축방향 및 폭 방향의 체적 배분과 단면 성형이 필요하게 되고, 최적 예비성형체 형상과 성형법의 선정이 중요하다. 최적 예비성형체 형상을 구하기 위해서는 단조시의 재료 유동을 충분히 파악할 필요가 있고, 그 방법으로는 Slab법, 유한 요소법,

표 2. 절단정도 불량에 단조에 미치는 영향 및 결함

절단정도 불량	단조에 미치는 영향 및 결함
절단면의 직각도, 평탄도	Upsetting시 좌굴, 진원도 불량에 미치는 결육, 종방향 Flash(폐쇄), 유도가열시 이송 이상, 자동반송 불량
흠 결함	상하면 결함(재료 종타), 양단부 결함(재료 횡타)
절단 중량의 산포	결육, 흠, 두께의 산포, 금형 파손(폐쇄), 종방향 Flash(폐쇄)

표 3. 단조 형식에 따른 절단재의 일반적 요구 사항

단 조	형 식	직 각 도	기 타 조 건	중 량 오 차
해머 단조	횡타	-	-	-
	업세팅	1도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 1\%$
열간프레스단조	Flash 생성	-	-	$\pm 1\%$
	밀폐(폐쇄)	1도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.5\%$ 이내
	전후방 압출	0.5도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.5\%$ 이내
온간단조 (프레스)	Flash 생성	0.5도 이내		$\pm 0.5\%$ 이내
	밀 폐	0.5도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.4\%$ 이내
	전후방 압출	0.5도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.4\%$ 이내
냉간단조 (프레스)	Upsetting	0.5도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.3\%$ 이내
	밀 폐	0.5도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.3\%$ 이내
	전후방 압출	0.5도 이내	흠.결함이 없을 것	$\pm 0.3\%$ 이내

UBET법 등의 이론 해석법이나 Plasticine 등에 의한 모델 실험이 있다. 전자는 Computer의 발달에 따라 많은 진보가 있고, CAD에 의한 예비성형체 설계에 폭 넓게 활용되고 있지만 복잡형상 부품에 대해서는 아직도 많은 문제점을 안고있으며 후자의 모델 실험에서는 비교적 간단하게 Strain 분포나 응력 상태를 관찰하는 것이 가능하며, 실용적인 방법으로 여겨진다. 예비성형체 성형법으로는 단조 Roll, Cross-Roll, Upsetter, TR장치 등이 있지만 온간 단조 영역의 변형에서는 상당한 온도 강하가 발생하고 설비비나 예비성형체 성형 정도 등의 측면에서 문제점이 있으므로 대상 부품에 따라서는 분말 예비성형체나 주조 예비성형체의 이용을 고려할 필요가 있다.

3. 단조 온도

온간 단조에 있어서 건전한 제품을 안정된 가격으로 생산하기 위해서는 재료, 윤활, 공구 및 성형 기계에서 구성되는 시스템이 잘 설계 되어야 한다. 이러한 시스템에서 온간 단조와 같이 재료를 가열할 경우 냉간 단조에 비해서 변형저항의

감소 및 변형능의 증가와 같이 단조성을 향상시키는 효과가 있지만, 동시에 재료의 산화, 탈탄, 결정립의 조대화, 윤활 성능의 열화 및 금형 연화등의 금형 수명 및 제품성질을 악화시키는 요인도 발생한다.

강의 온간단조에서는 소재의 가열연화에 따라 가공압력을 작게하기 위해 보통 400~800℃의 온도 범위를 지향하고 있지만 변형량이 큰 경우나 예비성형체 성형을 필요로 하는 경우등에서는 900~1000℃를 필요로 하는 것도 있다.

단조온도의 선정에는 주로 재료, 성형 기계 및 장치, 금형 구성 등을 고려하여 적정 온도를 파악하는 것이 중요하고 온도의 산포를 매우 엄격히 관리하는 것이 필요하므로 자동화를 하는 것이 유리하다. 표 4에는 최적 가공 온도를 선정할 때 고려할 사항을 요인별로 정리한 것이다.

표 4는 온도에 따라 변화하는 특성을 고려하여 적정온도 선정 기준을 제시하고 있다.

열처리 생략강의 사용이나 단조후의 보유열을 이용한 연속 소둔, 단조 소입 등을 적용할 때에는 소정의 제품 특성을 얻기 위해서 필요한 최적 단조 온도를 고려해야만 한다. 그러나 단조 온도가

표 4. 최적 가공 온도 선정시 고려 해야 하는 인자

요인	요인의 온도 의존성	온간효과 및 필요 조건
변형저항	변형 응력이 작게된다. 일반적으로 냉간에 비해서 온간에서 1/2로 그리고 열간에서는 1/4로 감소	가공압력, 가공하중 및 가공 energy의 저하에 의해 기계의 소형화를 피할 수 있다. 또, 형상용 압력도 작게 된다.
변형능	연성이 증가한다. 예를들면 강에서는 약 500℃ 정도에서 점차로 연성이 증가하고 파괴 변형이 크게 된다.	중간 tempering의 개략(공정의 단축)을 피할 수 있다. 냉간단조가 곤란한 인성 재료의 단조가 가능
윤활성능	냉각성능이 열화한다. 예를들면 본태 처리는 약200℃ 이황화 물리브텐은 약 500℃이상에서는 마찰계수가 높게 된다.	눌러 붙음등 가공압력의 변동 및 증대를 막기 위해서 저마찰계수가 필요
금형수명	금형치수정도의 악화와 금형강도의 저하가 발생한다.	열충격에 의한 crack, 열응력 및 가공압력에 의한 공구의 변형과 파괴 그리고 마모의 방지 대책이 필요
제품품질	산화 scale의 발생, 결정립의 조대화 및 고온상변태가 일어난다.	가공결함이 없고, 치수정도 및 기계적 성질이 높은 점 온간가공의 효과로서는 결정립 미세화에 의한 강인화를 기대

900℃ 이상의 공기중 가열에서는 산화, 탈탄 등의 제품 품질의 저하가 초래되므로 분위기가열 또는 적당한 소재 코팅, 유도 가열로 등에 의한 단시간 가열이 필요하다.

온간단조용 가열장치로 가장 많이 이용되는 것은 단조 재료에 대한 에너지 투입 속도가 빠르고 급속가열이 가능하며 표면의 산화, 탈탄이 적기 때문이다. Induction Heater의 경우 자기 변태점을 경계로 해서 적용 주파수가 변화하는데, 자기 변태점 이하의 가열에서는 저주파, 그 이상의 가열에서는 고주파가 이용된다. 또 다른 가열 방법으로 분위기로 등도 있지만 승온, 강온에 요하는 시간이 많이 걸리므로 단조기의 부속 설비로는 일반적으로 적합하지 않다.

4. 성형기계 및 장치

온간 단조용 성형 기계 및 장치의 구동 방식은 크게 기계식과 유압식으로 분류되지만 Timing, Stroke 및 가압력의 3요소가 효율적으로 작용하여야 결합이 발생하지 않는 원활한 재료 유동이 달성된다. 그러나 금형 수명에 대해서는 Slide Motion이 빠른 쪽이 좋다. 금형과 가열 소재와의 접촉 시간이 짧은 만큼 금형 표면에서의 열이동이 적게 되고, 성형 하중이 약간 증가함에도 불구하고 금형의 마모가 적기 때문이다. 이것은 종래의 열간 단조에서 Hammer금형과 Press금형에서 금형 수명의 현저한 차이에 있어서도 명확하다. 따라서 온간단조의 경우에도 단조온도가 높은 만큼 금형 수명은 나빠지는 경향이 있다고 생각할 수 있다.

5. 금형

온간 단조의 경우 금형에 추가되는 압력은 냉간 단조보다 작지만 온간 온도역에서는 가열 소재에 의한 Tempering 연화, 국부적 소성 변형에

의한 금형 형상의 변화등으로 정도 저하는 냉간 단조 보다 심하다. 그러므로 윤활과 동시에 금형 냉각, 가공품과 금형과의 접촉 시간의 단축등 온간단조의 특징을 살려서 금형 수명의 향상을 도모할 필요가 있다. 온간단조 금형은 내열성이 있고, 강도, 인성이 우수하여야 하며 SKD61과 같은 열간단조용 금형재에서는 단조 면압이 높으면 내마모성과 압축강도가 부족해서 금형이 변형되는 경향이 있고, SKH55와 SKD11과 같은 고탄소계의 고속도공구강과 다이강은 인성에서 문제가 있다. 결과적으로 열간다이강이 가지는 온간에서의 고온 인성과 고속도공구강의 고강도, 내마모성을 겸비한 소재(예: 일본 히다치 금속의 YXR3, YXR4, MDC-K, MDC-K3)가 온간단조 금형재로 많은 주목을 받고 있다.

금형구조로서는 소재 체적의 산포를 흡수하기도 하고, 밀폐 금형내의 Gas 배기 등에 의한 성형 하중의 경감 대책이 중요하고 금형 구조로서는 복잡화 된다.

또, 형 온도의 상승은 금형 수명에 큰 영향을 미치므로 금형 냉각을 겸한 윤활이 쉬운 금형설계도 중요하다. 금형의 수명에 영향을 미치는 인자를 크게 구분하면 (1)변형 (2)마모 (3)윤활등이다. 이 손상에 대한 원인과 대책을 정리하여 표 5에 나타내었다.

그림 4에는 금형 가공, 그림 5에는 온간 단조금형, 그림 6에는 실제 성형된 대표적 온간 단조품의 예를 나타내었다.

6. 윤활제와 윤활 방법

금형에 높은 압력과 온도가 가해지므로 적절한 마모 경감 대책은 성형에서 필요한 가공력을 저하시키고, 소착부의 방지, 금형과 소재간의 단열, 금형의 냉각 등에 따른 금형 수명의 연장 외에 Metal Flow, 성형품의 표면 품질, 결정 조직, 기계적 성질, 치수 정도 등의 향상에 직접 영향을

표 5. 금형의 파손 원인 및 대책

현상	원인	대책
마모	내마모성 부족	-내마모성이 큰 금형재를 사용 -질화 등의 표면처리를 함 -금형표면의 온도관리(적절한 냉각)
	윤활불완전	-적절한 윤활제의 선정 -윤활제 도포방법의 고안
파괴	인성부족	-금형재의 선정 -적당한 열처리
	응력집중	-형상의 검토 -비금속 개재물등 내부결함이 적은 금형재의 사용 -금형 처리의 향상
	열응력의 과대	-인성을 높임 -항복점 강도를 증가시킴 -팽창율이 작고 열전도율·비열이 큰 것 -금형의 열관리를 개선

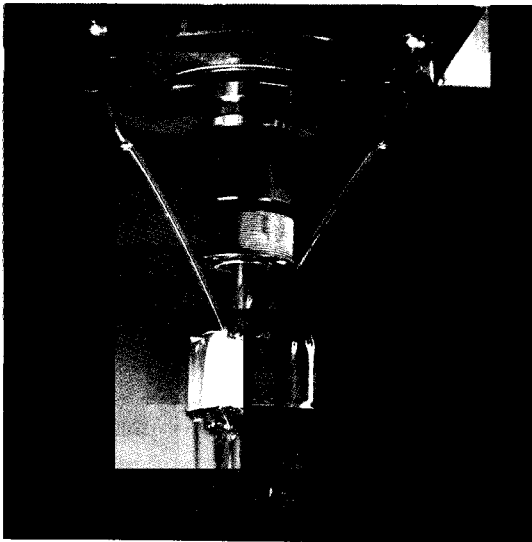


그림 4. 온간단조 금형제작

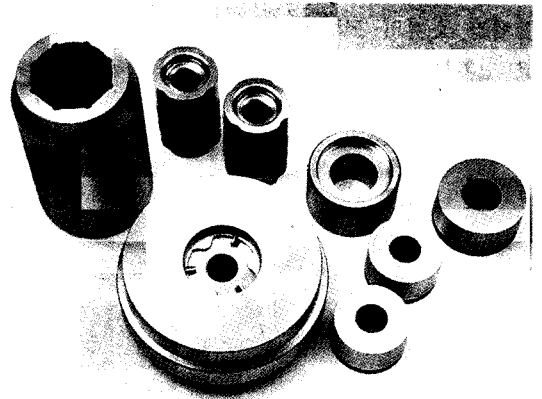


그림 5. 온간 Transfer 단조금형의 예

주는 중요한 역할을 한다. 윤활제는 고체(흑연, MoS₂, 점토, 활석, 금속산화물, 운모 등), 가용성물질(주로 Salt, Glass소재류), 유기 화학 물질(광물유, 동물 지방, 중합체등), 수용성 물질(전기 물질 중 1종을 물에 분산, 현탁, 용해시킨 것)의 4 종류로 분류되지만, 보통 이러한 물질의 2종 또는 3종의 것이 혼합되고 있다.

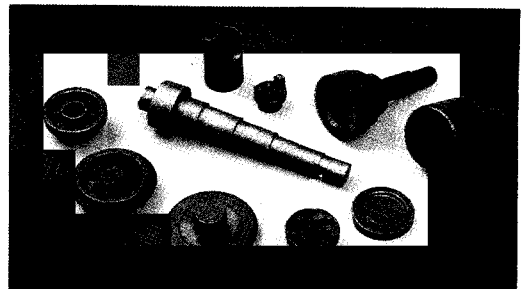


그림 6. 온간단조품 예

윤활제의 선정시 주의 해야할 사항은 다음과 같다.

- (i) 금형 : 화학 성분, 표면조도, 복잡도 (Cavity의 깊이), 온도
- (ii) 소재 : 화학성분, 단조온도, 산화 스케일의 정도
- (iii) 단조기계 : Hammer, Press 등의 형식과 용량 (변형 속도)
- (iv) 단조 공정수와 사이클 시간
- (v) 현재 사용하고 있는 윤활제의 장단점
- (vi) 현재 행해지는 도포 방법 등

그 외에 함유율, 회석도, 입자의 크기, 기타 첨가물, 점도, 인화점도 고려할 필요가 있다. 이미, 온간 단조에서는 일반적으로 수용성의 흑연계 윤활제가 소재의 코팅과 금형의 스프레이에 병용되고 있지만 가장 효과적인 윤활제는 MoS₂와 흑연의 혼합액에 Cu, Mn, Pb, Cd, Bi, B 등의 화합물을 첨가한 물, 기름, 휘발성용제계, 수지 또는페이스트계의 것도 있다. 그러나 소재에 코팅하는 경우 효과적인 코팅 두께, 여러 가지 가열 온도에서의 유지 시간 등에 대한 실용적인 작업 표준의 확립이 시급하다. 또 스프레이 방식에서는 금형표면 온도와 윤활제의 습윤성(Wettability)의 관계가 중요하고, 수용성의 윤활제에서는 290℃ 이상에서 습윤성이 없어지고, 분무화 정도가 중요하게 된다. 매우 미세한 입자에서는 증기막에 따라서 윤활피막의 부착이 방해되므로 반대로 큰 입자쪽이 좋다. 그외에 스프레이 방식에서 주의할 점은 분무 방향이 윤활면에 평행되면 양호한 피막의 형성은 얻어지지 않는다. 이상과 같이 단조 가공에 있어서 Tribology적 조건은 극히 엄격해지고 복잡해서 모든 조건을 만족시킬 수 있는 윤활제는 없다고 말해도 과언이 아니다. 이것은 너무나 많은 영향 인자인 까닭에 어떤 조건에 대한 대책이 다른 조건에서는 악 영향을 미치는 경우가 많기 때문이다. 그러므로 이것들의 문제를 시스템으로 파

하고 생산 현장적인 Parameter를 선택할 수 있도록 기초 데이터의 축적과 연구가 강하게 요망된다.

7. 결론

앞에서 서술한 바와 같이 온간단조는 냉간과 열간의 장점을 취하고 단점을 보완한 가공법이다. 예를들면, 열간단조에 비해 공정수가 증가하는 경향이 있고 단조가격이 다소 높지만 절삭 공정의 감소, 에너지 절약, 기계적 성질의 개선 등 총체적인 장점을 고찰하면 원가가 감소하고, 냉간단조의 정도에는 미치지 못하지만 대형부품의 성형이 종래 설비에서 가능하고, 더욱이 공정단축이 되는 점을 계산해 보면 원가면에서 유리한 점이 많다. 그리고 온간단조의 경제성을 고찰해 보면 그 배경에는 에너지 절약, 자원절약 등으로 원가, 가격체계의 변화가 생겨, Total Cost(종합원가) 면에서 보면 온간단조가 유리하다고 생각되어 진다. 열간단조의 에너지절약화, 냉간단조의 공정단축화를 합치고, 중간 Annealing의 생략에 의한 Energy 절약, 특히 최근 환경문제가 심각해지는 상황에서 냉간용 인산염피막처리 폐액 대책의 생략에 의한 공해 대책비의 저감 등도 온간단조의 경제성으로 평가되는 인자이다. 온간단조는 난성형 재료의 가공법으로의 응용과 함께 Non-symmetric 부품의 성형, 냉간 단조의 공정 단축화와 대형부품 성형의 방향으로 활용되고 있다. 그러나 현재에는 공구수명이 짧고 최적의 윤활제가 없는 등의 문제점이 지적되고 있다. 또 양산을 대상으로한 명확한 Data가 적어 실작업에 어려운 점이 많다. 성형 장치는 자동화 되는 것이 당연하지만 소재 가열, 윤활, 공정간의 재료이송등 단조라인 전체가 저마다의 최적 조건에서 자동화되어야 한다. 이 때문에 냉간·열간단조 등과 관련하여 과학적인 체계화를 꾀하여 현재에는 차차 실용단계에 접어들고 있다.

참고문헌

1. S. Sheljaskov, Journal of Materials Processing Technology, Vol.46 (1994) p.3
2. 단조 기술 연구소 보고서, 온간 소크鍛造の研究, 1985
3. 坂口英雄, 鍛造技報 Vol.34 (1988) p.46
4. 吉村 治・島崎定, 塑性と加工 Vol.24 (1983)
5. M. Hirschvogel, J. Mat. Proc. Tech., Vol.35 (1912)
6. S. Sheljaskov, Proc. 4th ICTP (1993) p. 1082

