

극세선 냉간 정수압 압출에서 금형과 윤활의 영향

나경환, 박훈재, 김승수, 윤덕재, 최태훈, 김응주

Effect of Die and Lubrication in Fine Wire Cold Hydrostatic Extrusion

K.-H. Na, H.-J. Park, S.-S. Kim, D.-J. Yoon, T.-H. Choi, E.-Z. Kim

Abstract

As in most metal forming processes, die and lubrication are of vital importance in hydrostatic extrusion. An efficient die design and lubrication system selection reduce the pressure required for a given reduction ratio by lowering friction at the billet-die interface. In contrast to the conventional macroscopic extrusion, fine-wire fabrication requires higher extrusion pressure and effect of friction is much more significant. Forming fine Au, Ag, and Cu wire with hydrostatic extrusion process in cold condition, the effect of extrusion die angle, lubrication and billet's initial diameter was studied.

Key Words : Fine Wire, Cold Hydrostatic Extrusion, Conical Extrusion Die, Pressure Medium, Lubricant

1. 서론

성형품의 치수가 작아지게 되면 금형의 형상, 금형의 소재, 윤활제와 윤활 방식의 선정이 더욱 중요해진다. 치수가 감소함에 따라 오히려 표면력의 영향이 증대하는 치수효과에 당면하게 되기 때문에, 마찰을 감소시키기 위한 적절한 방안은 성공적인 성형의 필수조건이다. 본 연구에서는 금속 극세선 정수압 압출 성형시에 발생하는 금형형상, 금형소재, 초기소재의 치수효과를 고찰해 보았다. 기존 세선 제작에는 인발법이 이용되어 왔다. 인발공정은 인발비의 한계로 인해 수백 단계에 걸쳐 성형해야 하며 중간에 풀립처리 공정까지 포함하게 된다. 이에 반해 압출공정은 일회의 가공으로 큰 단면감소와 균일한 품질을 얻을 수 있어 유리하나 기존의 직접/간접 압출법으로는 세선의 압출은 불가능하였다. 압출법 중에서 정수압 압출 공정은 컨테이너 안에서 유체로 둘러싸인 소재가 유체의 압력이 입계점에 도달했을 때, 금형의 형상

에 따라 성형되는 공정으로 봉재, 형재, 관재, 극세선 및 복합재 등의 정상상태 압출과 고속 압출을 가능하게 한다.

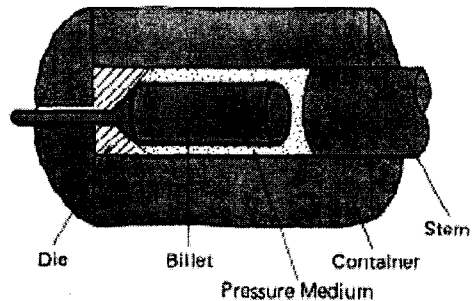


Fig. 1 Principle of hydrostatic extrusion

* 한국생산기술연구원 마이크로성형팀

기존의 압출 공법과 비교한 정수압 압출 공정의 큰 특징은 압력전달매체로 인해 소재와 용기내벽, 소재와 금형 사이의 마찰이 최소화되어 압출압력은 소재의 길이와 무관하며 따라서 비교적 긴 소재의 압출이 가능하다는 것이다. 그리고 소재는 정수압 상태에서 압출되므로 금형 내의 성형영역 외에는 좌굴이나 변형이 일어나지 않으며 비직선 또는 코일(coil)형의 소재도 직선 압출이 가능하다.

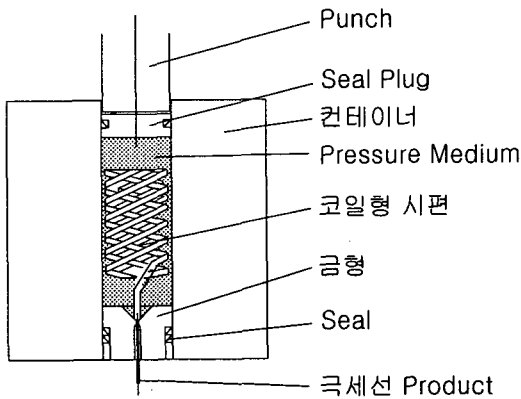


Fig. 2 Schematics of fine wire extrusion

2. 극세선 정수압 압출기

2.1 압출용 프레스

개발된 미세 압출용 프레스는 극세선과 미세 튜브 압출에 적합하도록 유압구동의 주 실린더를 관통하여 맨드렐을 독립적으로 구동시킬 수 있는 이중구동형식(double acting type)의 수직형 프레스이다.

압출기의 구동부는 압출력을 주는 주실린더, 컨테이너의 이동을 위한 shifting 실린더, 주 램을 관통하여 독립적으로 이동하는 맨드렐 조정 실린더로 구성된다. 유압유니트는 강성, 신뢰성 및 소음·진동문제를 고려하여 설계하였다. 프레임 설계 시에는 반복되는 압출하중을 고려하였으며, 압출하중 작용 시 변형량을 최소화 하는데 역점을 두어 충분한 강성과 내구성을 갖도록 하였다. 프레임은 bed, tie-rod, moving cross head, punch로 구성되며, 비교적 가공이 용이한 tie-rod방식으로 일체화하였다. platen hole의 중심도 및 bed sliding부의 수직도 등은 기계전체의 정밀도를 좌우하므로 일체화된 가공과 중첩가공을 실시하였다.

압출을 위한 빌렛 가압부는 펀치, 로드셀 및 moving

crosshead로 구성된다. 펀치는 최대압출하중에 의한 좌굴이 생기지 않도록 설계·제작하였으며, 압출력 측정을 위한 로드셀과 펀치의 정밀한 변위 제어를 위한 LVDT를 설치하였다.

설계·제작된 미세 압출용 프레스의 주요 규격은 Table 1에서, 완성된 압출기의 외관은 Fig. 3에서 볼 수 있다.

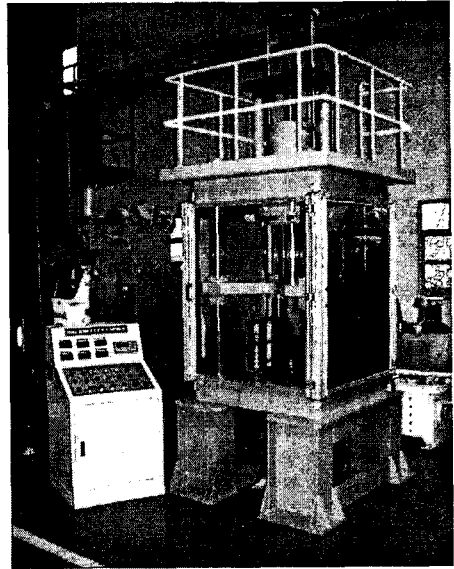


Fig. 3 Fine wire hydrostatic extruder

Table 1 Specification of fine wire and tube extruder

Item		Specification
General	Extrusion force capacity	900 kN
	Maximum extrusion pressure	1200MPa
	Maximum punch speed	25 mm/sec
	Maximum billet diameter	25 mm
	Maximum billet length	200 mm
	Main frame type	4 column of tie rod
Hydraulic unit	Hydraulic power	40 kW
	Hydraulic working pressure	21 MPa
	Pump delivery	50 l/min
	Tank capacity	250 l

2.2 초고압 컨테이너

정수압 압출공정의 기본원리가 초고압의 발생과 이를 유지시키는 것이므로 컨테이너부는 정수압 압출기의 핵심부라 할 수 있다. 컨테이너를 제작함에 있어 구조적, 기능적으로 우수한 강선적층방식을 채택하였다. 강선적층방식은 허용내압을 높이기 위해 pre-stress를 가하는 방법중의 하나인 다중벽구조의 개념을 한층 발전시켜, 일정한 폭과 두께를 갖는 강선에 인장력을 부여하면서 원통의 외주에 감아나가는 방식이다. 이 방식은 다중링을 반경방향과 축방향으로 유한개로 세분해서 계산된 권선력 즉 winding force를 제어하여 컨테이너 구조물의 응력분포를 최적화하여 안전도를 높이는 동시에 소형화를 이룩할 수 있는 제작방식이다.

본 연구의 900kN급 미세 정수압 압출용 프레스에 장착될 컨테이너의 상용내압은 열간압출을 감안하여 1200MPa로 설정하였다. 적층 전에 안쪽 인서트(insert)를 라이너(liner)에 억지끼워맞춤을 하고, 적층 시 강선의 이탈을 막기 위해 상하 플랜지와 라이너는 나사체결로 일체화 하였다. 라이너의 외벽에 반원형태의 홈을 길이 방향으로 두어 여기에 가열소자가(heating element) 카트리지(cartridge) 형태로 설치된다.

2.3 금형 및 밀폐

정수압 압출용 금형은 공정의 특성상 컨테이너 bore내로 삽입된 상태에서 소재가 압출되기 때문에 금형의 크기가 작아지고 구조도 비교적 간단하여 재료 소모와 가공비의 측면에서 재래식 압출금형에 비해 유리하다. 그러나 정수압 압출의 가장 큰 특징인 컨테이너 내에서 초고압의 발생과 유지를 위해서는 결합이 없는 표면과 특수한 밀폐장치가 필요하다.

금형의 설계 및 제작기술은 금형의 수명, 압출재의 결합유무 및 압출압력 등에 영향을 미친다. 압출시 소재와 금형의 bearing면 사이의 마찰을 최소화하기 위하여 금형의 bearing면은 래핑가공한다. 압출금형의 형상은 원추형으로 60°의 원추각을 갖도록 하였으며 금형은 입구에서 출구까지 능선으로 이어지고 출구부위에 약간의 렌드부를 두고 3° 내외의 여유각으로 벌어지도록 하였다. 컨테이너 bore에서 초고압의 발생과 유지를 위해 특수한 밀폐구조가 요구된다. 밀폐가 요구되는 부위들을 금형과 컨테이너 사이의 정적 밀폐부와 펀치와 컨테이너 사이의 동적 밀폐부이다. 금형과 컨테이너사이의 밀폐는 금형의 외경치수와 컨테이너의 내경치수로 그 틈새를 조절하고 고리형태의 한 쌍의 밀폐요소인 miter-ring을 삽입한다. 금형과 컨테이너 사이의 틈새는 금형 외경의 1/2000정도

가 적절하며, 밀폐요소의 재료로는 탄성 변형률이 큰 베릴륨 동을 사용하였다. 또한 램과 컨테이너 사이의 동적 밀폐는 램에 밀폐요소를 삽입시키고 너트로 압착하여 고정시키는 구조를 적용하였다.

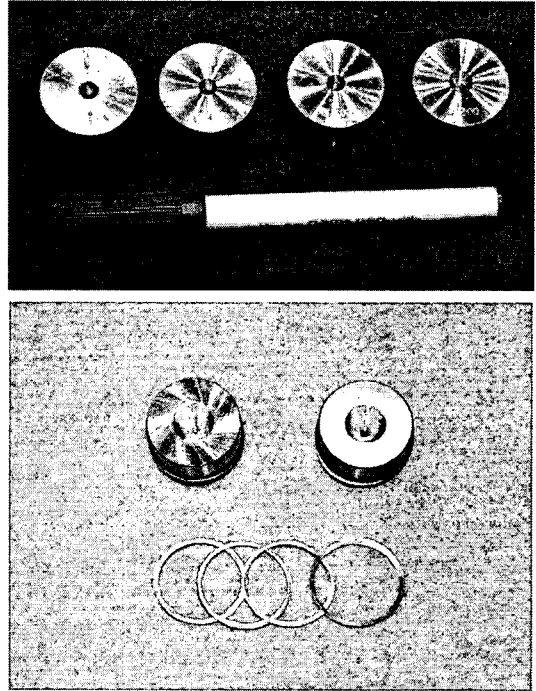


Fig. 4 Extrusion die & seal ring

3. 극세선 압출 실험

설계 제작된 극세선 압출용 정수압 압출기를 이용하여 Au, Ag, Cu 선재를 성형하였다. 직경이 5mm, 3mm, 1mm 인 초기 시편을 각각 준비하였으며, 압출 금형은 직경 1mm - 0.1mm를 이용하였다. 압출전 시편의 선단은 가공을 하여 원추형 금형에 밀착될 수 있도록 하였으며, 금형과 시편을 컨테이너에 넣은 후 압력전달매체를 채우고 나서 램으로 임계 압력에 도달 할 때까지 가압하였다.

압력매체는 석유와 기계유를 혼합하여 알맞은 점도와 윤활성을 갖도록 하였다. 기존에 많이 사용되었던 피마자유나 기계유만을 사용했을 때는 너무 점도가 높아 성형에 실패하였고, 너무 점도가 낮은 경우에는 윤활막이 생성되지 않아 역시 압출이 되지 않았다.

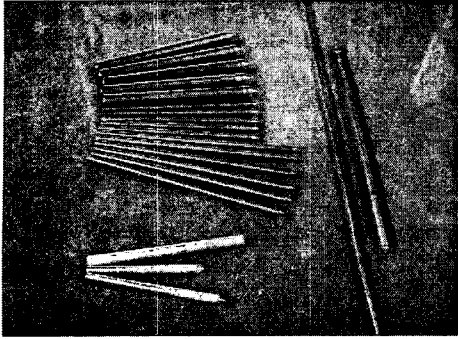


Fig. 5 Initial billet (Au, Ag, Cu)

비교적 강도가 작은 금은 압출비 56까지 가능하였으나, 강도가 높은 구리의 경우에는 압출비가 25에도 도달하지 못하였다. 압출에 사용된 원소재, 압출되어 나온 선재는 Fig. 5~8에서 볼 수 있다.

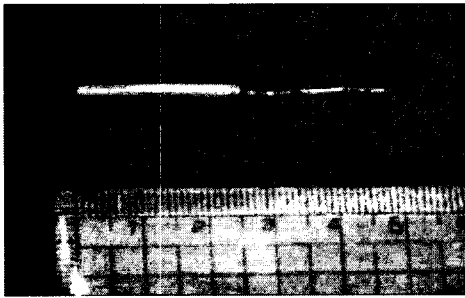


Fig. 6 Extruded fine Au wire
Initial billet diameter : 3mm
fabricated wire diameter : 0.3mm
Extrusion ratio : 100

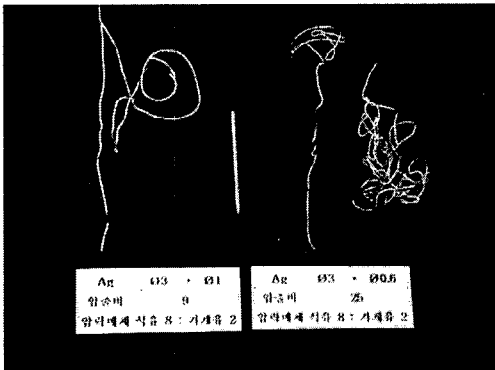


Fig. 7 Extruded fine wire (Ag)

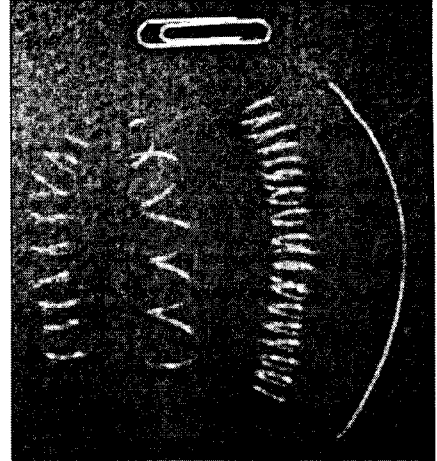


Fig. 8 Extruded Au fine wire.
Wire diameter is 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5mm respectively from left to right

압출이 진행됨에 따라 컨테이너 내부의 압력은 Fig. 9와 같이 변화하였다. 램이 내려옴에 따라 컨테이너 속에 채워져 있던 압력매체가 압축되면서 압력이 압출 임계점까지 상승하게 된다. 압출에 사용한 석유와 기계유 혼합물의 체적 감소율이 매우 큰 것으로 나타났다. 압출이 시작됨과 동시에 압력은 약간 떨어져 정상 상태에 도달하게 되지만, 이번 실험에서는 준비한 시편의 길이가 짧아 정상 상태의 구간이 짧게 나타났고, 성형 속도는 약 5mm/s 정도로 선재가 순간적으로 압출되어 나왔다.

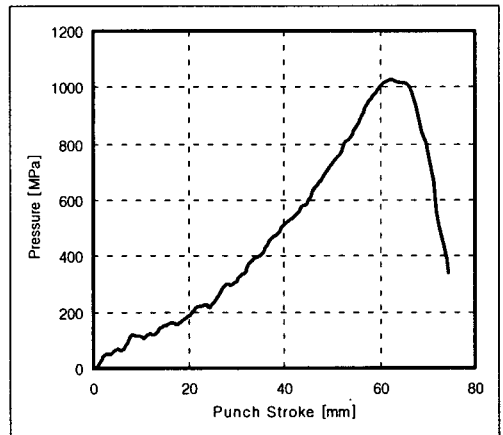


Fig. 9 Extrusion pressure with punch stroke (material : Au, extrusion ratio : 70)

각 재료별로 압출비의 변화에 따라 필요한 압출압력을 Fig. 10에 나타내었다. 압출비와 압출비간에 로그함수 (log function)관계를 드러내고 있다. 재료에 따라 압출 압력이 차이가 날 뿐 아니라, 압출비의 증가에 따른 압출압력의 증가율에도 차이가 있음을 알 수 있다.

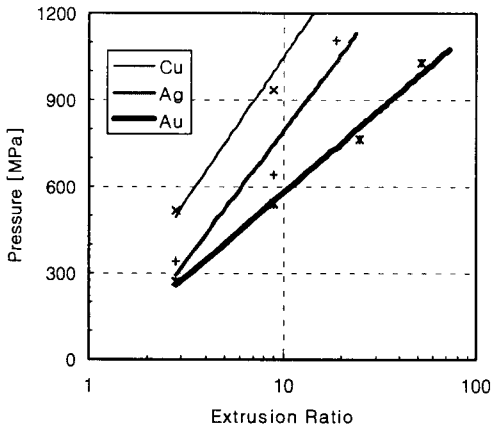


Fig. 10 Extrusion pressure for each materials

치수효과를 확인하기 위한 실험으로서 초기 소재의 직경을 달리하여 Au 세선을 압출하였다. Fig. 12에서 확인할 수 있는 것과 같이, 같은 압출비라 할지라도 초기 billet의 직경에 따라 압출 하중에 차이가 나고 있다. 소재의 직경이 작을수록 더 큰 압출 압력이 필요하며, 압출비가 커질수록 그 차이는 심해지고 있다.

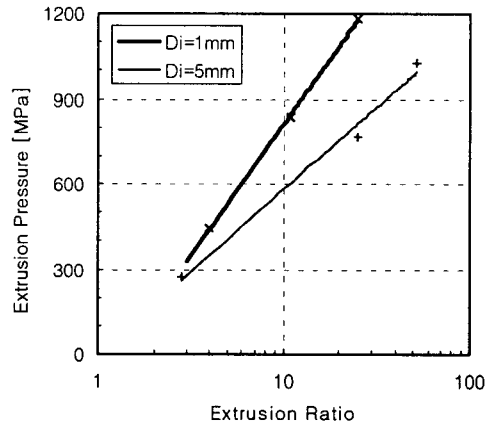


Fig. 12 Size effect on fine wire extrusion (Di : Diameter of initial billet)

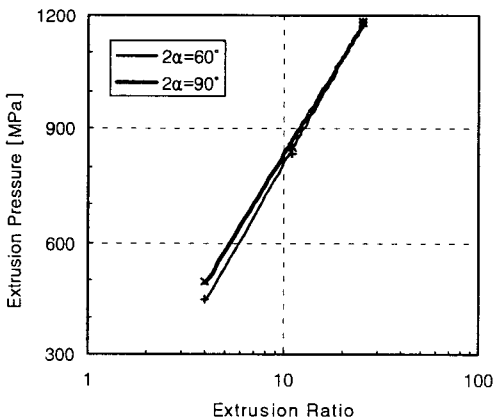


Fig. 11 Effect of extrusion die angle

압출 금형 형상의 영향을 보기 위해 압출각을 달리하여 Au 세선을 압출한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 같은 조건하에서 압출각에 따라 압출압력에 차이가 나고 있으며, 그 차이 또한 압출비가 변함에 따라 달라지고 있다. 이것은 특정 압출비에서 최적의 압출각이 존재함을 의미한다.

4. 결론 및 추후 연구 방향

압출 press, double acting 실린더, 컨테이너 및 stem assembly를 포함한 900kN급의 미세 압출용 열간 정수압 공정 설비를 설계·제작하였다.

초기 직경 $\phi 5$, $\phi 3$, $\phi 1$ 의 Au, Ag, Cu 봉재를 냉간에서 최대 압출비 56 압력 1200MPa로, 1회 성형에 직경을 최소 $\phi 0.2$ 까지 줄이는 데 성공하였다.

가공소재가 작아지면서 체적력보다 표면력이 성형공정을 좌우하는 주된 요소가 되므로 마찰의 최소화를 위해 양호한 표면상태의 금형과 윤활성이 뛰어난 압력매체를 사용하는 것이 중요함을 확인하였다. 이러한 조건이 만족된다면 냉간에서 압출비 100이상으로 직경 $100\mu\text{m}$ 이하의 Au 선재를 성형할 수 있을 것으로 예상된다.

압출재의 소형화에 따른 어려움을 피하고, 다량의 극세선을 한번에 얻을 수 있는 성형법으로 다심선재 압출법을 연구하고 있다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사

의 말씀을 올립니다.

참고문헌

- [1] J. Robertson, British Patent No.19, 356, October 14, 1893
- [2] J. Robertson, U.S. Patent No.524, 504, August 24, 1893
- [3] P.W. Bridgman, *Physics of High Pressure*, International Text books of Exact Sciences, G.Bell & Sons Ltd., London, 1949
- [4] P.W. Bridgman, *Collected Experimental Papers*, Harvard University press, 1964
- [5] N. Inoue and M. Nishihara, *Hydrostatic Extrusion, Theory and Applications*, Elsevier Applied Science Publisher, 1985
- [6] Hitachi Cable Ltd., Pamphlet, 1994-1(H), 1994
- [7] T. Matsushita and K. Kita, Development of a Multi-type Extrusion Press, 4th International Aluminum Extrusion Technology, Vol 1, 281-291
- [8] G. Liang, Z. Li, E. Wang and Z. Wang, Hot Hydrostatic Extrusion and Microstructures of Mechanically Alloyed Al-4.9Fe4.9Ni Alloy, J. of Mat. Proc. Tech., Vol.55, pp.37-42, 1995
- [9] H.J. Park, H.H. Na, N.S. Cho, Y.S. Lee and S.W. Kim, A Study of the Hydrostatic Extrusion of Copper-clad Aluminum Tube, J. of Mat. Proc. Tech., Vol.67, pp.24-28, 1997
- [10] J.C. Hung and C. Hung, The Design and Development of a Hydrostatic Extrusion Apparatus, J. of Mat. Proc. Tech., Vol.104, pp.226-235, 2000
- [11] Wilson, W.R.D., *Hydrostatic Extrusion(Theory and Applications)*, Lubrication in hydrostatic extrusion, Elsevier applied science publishers, pp. 41~71, 1985.
- [12] Pugh, H.L.L.D. "Hydrostatic Extrusion", Cu 1986-COPPER TOMORROW. Technology-Product-Research Conference, pp. 67~83, 1989.
- [13] Matsusita, T., Yamazaki, T., Arimura, K. and Noguchi, M., "Commercially Pure Titanium", KOBELCO Technology Review, No.12, 1991.
- [14] Yasunori Saotome, "Microforming and Fabrication of Micromachines with Amorphous Alloys", Proc. the 3rd Int. Micromachine Symposium, pp.29~31, 1997.
- [15] Yasunori Saotome and Akihisa Inoue, "New Amorphous Alloys as Micromaterials and the Processing Technologies", Proc. IEEE the 13th Annual Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems 2000, pp.288~292, 2000.