



# 소성가공기술의 발전

권용남, 김상우, 이영선, 이정환 | 한국기계연구원

소성가공기술은 재료에 외력을 가하여 원하는 형태로 소성변형을 시키는 기술로서 자동차, 조선, 전기·전자, 건축·토목을 비롯한 대부분의 산업분야에 소요되는 부품생산의 기반 기술이다. 또한, 소성변형시 재료에 가해지는 외력 및 열을 효과적으로 이용함으로써 재료의 성질을 개선할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 소재 산업과도 가장 밀접한 관계를 가지고 있는 분야이기도 하다.

산업 발전과 시장 수요의 다양화에 따라 소성가공기술 분야에서도 새로운 기술의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 최근 소성가공기술의 발전은 신소재의 적용, 부품의 일체화, 공정의 단순화 등으로 부품의 부가가치를 높일 뿐만 아니라 가격 및 납기의 단축을 통해 경제성을 높이는 기술들의 개발에 초점이 맞춰져 있다. 이에 따라 하이드로포밍, 부풀림성형 등을 비롯한 가스압 성형기술, 경량화 소재를 이용한 일체화 성형 등이 활발하게 개발되고 있다. 이와 같은 성형기술을 뒷받침하는 장비기술 또한 활발하게 개발이 이루어지고 있다. 또한, 전통적인 제조업 분야인 소성가공분야에서도 정보 및 지식 기반 기술의 융합이 시도되어 기반기술의 경쟁력을 제고하는데 기여하고 있다.

이상과 같이 소성가공기술은 국가의 산업 경쟁력을 가능할 수 있는 핵심 기반기술에 해당된다. 본 「기계와 재료-가을호」에서는 최근 국내 소성가공분야에서 개발되고 있는 신기술 분야의 전문가들의 연구 사례를 살펴봄으로써 현재 국내 소성가공기술의 수준을 점검하고 향후 소성가공산업 분야의 발전 방향을 탐색해 보고자 하였다.

금형과 성형소재 사이의 마찰을 저감시킬 수 있는 윤활 기술, 온열간 단조시 금형 수명 향상에 대한 논문은 소성가공 산업에서 언제나 개선이 요구되는 기술 분야이다. 윤활 특성은 특정 소성가공 공정의 가능성을 판가름하는 중요한 변수로 이에 대한 새로운 기능성 고체윤활 피막 및 이의 코팅 기술에 대한 새로운 개발 결과가 소개된다. 또한, 온열간 단조 금형의 수명예측을 통해 생산성을 높일 수 있는 방안이 제시되었다.

소성가공 공정에 대한 2편의 원고는 각각 고강도 판재의 탄성회복 제어 및 고온 소성가공 중 미세조직 제어에 관한 논문이다. 고강도 소재의 개발에 따라 판재의 정밀 성형 기술의 수준이 향상될 필요가 있는데 이에 대한 기초적인 접근 및 실제 문제 해결의 방안에 대한 아이디어를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 소성가공시 발생하

는 미세조직 제어를 적극적으로 제어함으로써 높은 특성을 가지는 부품의 생산이 가능한 기술을 소개하고 있다.

마지막으로 MEMS를 비롯한 미세기계구조물에 사용될 수 있는 부품의 소성가공기술 및 제조공정의 혁신을 위한 국내외의 연구개발 사례를 살펴보았다. 미세기계용 부품의 경우 비정질 합금의 소성가공기술을 소개함으로써 향후 소성가공 산업에서 등장할 신소재 및 미세 소성가공기술에 대한 가능성 및 연구개발 추세에 대한 이해를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 제조공정의 혁신은 산업사회의 발전에 따라 끊임없이 추구되어 오고 있지만 최근에 이르러 소성가공산업을 비롯한 국내 제조업 분야는 전세계적인 산업 구조의 변화에 대응할 수 있는 새로운 혁신 모델을 필요로 하고 있으며 이에 대한 적절한 대응 방안을 찾아볼 수 있을 것으로 생각된다. 각 논문의 개략적인 내용은 아래에 간단히 정리하였다.

### ▶ 기능성 고체윤활 피막 및 코팅기술

다양한 기계요소에게 폭넓게 활용하여 기계장치의 최종적인 성능 및 내구수명을 마찰마멸의 저감을 통해 향상시킬 수 있는 기능성 고체윤활 피막 및 코팅기술에 대해 설명한다. 경한 모재위에 박막의 형태로 연금속을 코팅하여 윤활을 수행하는 방법 중 기존에 비해 우수한 접착강도 및 윤활특성을 보이고 있는 경사기능형 코팅법에 대한 간략한 소개와 함께 윤활성을 지닌 고체입자들을 유기 혹은 무기물 형태의 결합체에 분산시켜 사용하는 피막접착형 고체 윤활에 대해 소개하고 있다. 특히, 우수한 내열성을 필요로 하는 공정에서 효율적으로 적용될 수 있는 피막접착형 고체윤활제 연구의 실례로 졸-겔 기술에 의한 유기 변성된 하이브리드 세라믹 물질의 미세 마찰마모 특성을 분석하였다.

### ▶ 온열간 단조 공정에서 금형 수명 예측 및 향상 기법

단조공정에서의 금형 수명을 향상시킴으로써 생산성을 높이고 원가절감을 이루기 위해서는 요구되는 금형수명 예측기술 및 이를 위해 우선적으로 고려되어야 하는 단조공정에서의 금형수명에 영향을 미치는 인자들에 관해 분석하고 있다. 열간단조용 금형의 수명을 결정하는 주요인자로 마찰에 의한 접촉면에서의 마멸, 열피로에 의한 열균열, 금형의 강도저하로 인한 소성변형으로 크게 나누어 이들 상호간의 복합적인 관계를 분석함으로써 금형수명과 관련된 생산성 측면에서 다루고 있으며, CAE를 이용한 해석기술과 마멸 및 열연화 실험을 통해 얻은 한계마멸량 및 경도값 등의 실험데이터를 연계하여 열간 단조에서의 연삭 마멸량의 예측기술 및 열간금형의 강도저하로 인한 소성변형에 대한 수명예측 기술을 제시하고 있다. 아울러 성형속도, 표면처리 및 윤활제에 따른 금형 수명을 평가하여 비교분석 함으로써 금형수명에 대한 관련 인자들의 영향과 함께 정량적 평가기술을 소개하고 있다.

### ▶ 탄성 회복량 정밀 예측을 통한 정밀 판재 성형 기술

판재성형에 있어 치수정밀도 향상을 위한 중점 연구분야로서 유한요소 해석을 통한 탄성 회복량 정밀 예측기술에 대해 소개한다. 금형에 의한 강재 변형을 받은 소재가 금형으로부터 추출되면서 새로운 정적 평형 상태를 만족하기 위해 발생하는 탄성변형인 “탄성회복”의 물리적 정의와 탄성 회복량의 크기에 영향을 미치는 주요인자들에 대해 설명하고 있으며, 탄성회복량 예측을 위한 유한요소 해석시 고려되어야할 수치적 해석조건 및 방법, 굽힘실험을 통한 해석의 검증 등 탄성 회복량의 정밀예측을 위한 전반적인 내용을 포함하고 있다. 또한 우수한 성형성과

높은 강도로 요구가 증대되고 있는 Trip강의 탄성회복량 예측을 위해 탄성계수를 변형률에 따라 달리 적용하는 방법이 제시되었다.

### ▶ $\alpha + \beta$ 타이타늄합금의 가공 열처리 공정 설계기술

열간성형공정시 성형중 발생될 수 있는 소재의 성형결함과 미세조직적 변화를 고려함으로써 제품의 품질을 향상시키기 위한  $\alpha + \beta$  타이타늄합금의 가공 열처리공정 설계 기술에 대해 설명한다. 일반적인 가공열처리 공정의 개략적인 소개와 함께 타이타늄 합금의 잉고트 파쇄공정, 타이타늄 중간재의  $\alpha + \beta$  영역 성형공정, 2차 성형공정에 대한 가공열처리 공정별 미세조직 변화를 전산해석을 이용하여 예측하기 위한 금속학적 모델을 설명하고 있다. 또한 유한요소법과 상기의 관련이론을 연계하여 열역학적 이론에 근거한 소성불안정 기준, 연성파괴이론, 미세조직 예측을 통해 결함에 대한 예측 및 평가를 통한 공정 설계 기술을 소개하고 있다.

### ▶ 벌크 비정질합금을 이용한 극미세 형상체 성형 기술 연구 현황

최근 관심을 끌고 있는 다양한 기계 시스템의 소형화를 위해서는 이들을 구성하고 있는 미세 부품성형 기술이 요구되고 있으며 이를 위한 벌크 비정질합금을 이용한 극미세 형상체 성형 기술 연구 현황을 소개하고 있다. 기존의 매크로 규모에서 확립되어온 금속 성형기술은 극미세 부품 성형시 대두되는 크기효과에 대한 기술적 이해의 부족으로 적용이 불가능한 것으로 판단하고, 마이크로 금속 성형 기술을 재료, 공정, 툴 및 장치 시스템의 4개 기술분야로 분류하여 마이크로 성형기술을 위한 이들 분야에서 진행되고 있는 연구동향 및 개발되어야 할 기술요소들을 제시하고 있다. 아울러 벌크 비정질합금의 균질성 및 우수한 성형성에도 불구하고 극미세 부품성형에 적용되지 못하고 있는 기술적인 문제점을 과냉각 액상영역에서 벌크 비정질 합금의 점성 유동 거동 및 그 기구에 대한 이해의 부족으로 보고 비정질 합금을 이용한 극미세 부품성형을 위해 진행되고 있는 연구현황을 특허동향을 통해 분석하였다.

### ▶ IT+MT 융합을 통한 제조공정의 혁신

제조공정의 혁신을 품질향상 및 제고, 작업성 제고, 리드타임의 단축, 비용 감축, 신기술의 활용 및 응용으로 요약하고 이를 달성하기 위한 중점 활동으로 기술의 개발, 전승, 발전을 위한 전문가 시스템인 디지털 마이스터, 장비의 인공지능화를 통한 제조기술의 혁신을 위한 지능화 기계에 대한 현상과 문제점을 점검하고 향후 전망을 검토한다. 디지털 마이스터를 위한 국내 대학 및 연구소의 다양한 시도 및 일본의 기술개발 동향을 분석하였으며, 소성가공분야에서의 제조공정혁신을 위한 지능화 기계의 역할 및 파급효과에 대해 기술하였다.

이상의 6편의 논문이 소성가공 산업을 비롯한 관련 제조업 분야의 현재를 점검하고 발전적인 미래를 설계하는데 조그만한 실마리라도 되기를 저자들과 함께 기대한다.



권 용 남

- 한국기계연구원 소재성형연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 금속재료의 소성변형
- E-mail : kyn1740@kmail.kimm.re.kr



김 상 우

- 한국기계연구원 소재성형연구센터 연구원
- 관심분야 : 하이드로포밍, 소성가공 CAE, 판재성형
- E-mail : kimsw@kmail.kimm.re.kr



이 영 선

- 한국기계연구원 소재성형연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 단조품 정밀도 향상, 판재 성형 기술, 소성가공 전산모사
- E-mail : lys1668@kmail.kimm.re.kr



이 정 환

- 한국기계연구원 소재성형연구센터 센터장
- 관심분야 : 정밀단조, 분말단조, 반응고성형, 초소성
- E-mail : ljh1239@kmail.kimm.re.kr