

연속식 열처리 터널로 개발

이정익*, 곽형훈

*인하공업전문대학 기계공학부 기계설계공학과

(주)제일메탈테크, 관리부

e-mail: jilee@inhac.ac.kr

Development of Continuous Heat Treatment Tunnel Gate

Jeong-Ick Lee*, Hyung-hoon Kwak

*Dept. of Mechanical Design, INHA Technical College

Dept. of Management, Jeil Metal Technology Ltd.

요 약

이 기술은 급랭 열처리 공정에 적용하기 위한 연구의 특수 강판이며, 특히 용해로 내 가스 분위기를 균일하게 형성하여 균일한 온도를 유지하고, 균일한 오스테나이트화, 열처리 공정 중 변형을 최소화하는 연속적 상시 스톱에 관한 것이다. 제품 불량률의 가열 시간을 단축함으로써 고품질화를 통한 생산성 향상이라는 주요 목표를 최소화합니다. 또한, 상기 열처리 공정을 통해 안정화된 특수 강판 담금질은 치수 정밀도가 우수하고, 고품질의 기계적 물성이 우수하여 시트재의 제조를 얻을 수 있다.

1. 서론

본 연구에서 개발대상기술은 판재의 소입 열처리 공정에 적용하기 위한 적주식 연속로에 관한 것으로서, 특수강 재질의 판재를 소입 열처리 공정 중에서 완전 오스테나이트화(Austenite) 시킬 때 균일한 로내 가스 분위기 형성, 균일한 온도유지, 제품의 균일한 오스테나이트화, 제품의 승온시간의 단축으로 인한 안정된 품질로 변형을 최소화하여 만족스러운 기계적 특성을 갖는 고품질의 판재제품을 생산할 수 있는 연속식 열처리 터널로 설비에 관한 것이다. 당사에서는 탄소공구강(SK5 등) 판재를 열처리하여 내마모성이 우수한 초경 팁(tip)이 부착된 원형톱날(tungsten carbide tipped circular saw blade)의 샹크(shank)와 나이프, 제동장치에 사용되는 디스크플레이트 등의 원자재를 주생산품으로 생산하고 있다. <그림 1 사진참조>



Fig. 1 Circular saw shank of main products

당사에서 보유하고 있는 열처리 기술(열처리용 냉각장치/20-2000-0010662, 열처리용 정밀제어 냉각장치/특허-2013-0029298)을 기반으로 열처리로 자체 설계 및 제작 기술, 최적의 샹크 설계기술, 초정밀 레이저 가공기술 등을 적용하여 국내 원형톱날제품의 국산화 및 품질개선에 크게 기여하고 있다. <그림 2 사진참조>



Fig.2 Precise control of cooling system for heat treatment

목재 및 금속의 절단기술이 고속도화, 고 정밀화되는 추세에 따라 당사에서 보유하고 있는 열처리 기술을 적용하더라도 탄소공구강 판재의 소입 열처리 공정에서의 높은 변형률을 완벽히 제어에는 한계가 있어 고정밀도/고강도를 요구하는 원형톱날의 경우, 판재를 국외(일본, 독일 등)에서의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 판재의 수입에 따른 고정밀도/고강도를 요구하는 원형톱날 제품의 안정적인 공급이 불가하고 외국메이커의 가격상승에 따른 제조단가가 상승하여 국내 원형톱날의 시장도 점차 경쟁력을 상실하고 있음. 따라서 가격이 저렴하고 우수한 치수 정밀도 및 기계적인 특성을 갖는 국내용 판재의 개발이 시급한 실정이다. 당사에서 기존에 사용하고 있는 열처리로는 메틸알콜(CH₃OH)을 로내에 직접 공급하여 열분해 반응에 의한 분해가스(CO + 2H₂)를 분위기 가스로 사용하는 적주식 열처리 방법을 적용하고 있으나 연속식 열처리 방법에 따른 열처리 로내의 분위기 가스분포 및 온도분포가 불균일하고 산소 등의 공기의 유입을 완벽히 차단하기 힘들어 분위기 제어가 어려운 상태이다. 열처리 공정에서 가스 분위기의 분포가 불균일하거나 공기 등의 불순물이 유입될 경우, 제품의 표면에 산화 스케일 등이 발생하여 열처리 후 소입 냉각공정에서 산화막층에 의한 냉각속도의 편차가 생겨서 경도 불균일 및 뒤틀림 등의 변형 불량률의 주원인이 된다. 당사의 주생산품인 원형톱날의 경우, 경도가 불균일할 경우 목재나 비철금속 등의 자재를 절단과정에서 취약한 치형 부분이나 팁이 부착된 부분이 깨져서 대형사고로 이어질 수 있음. 또한, 휨이나 뒤틀림 등의 변형이 심한 경우는 절단과정에서 소음이 발생하며 진동에 의한 응력이 집중되어 톱날의 깨짐현상이나 수명단축 등의 원인이 된다. 열처리로 내부로의 공기의 유입을 최대한 방지하기 위해서 제품의 투입구 부분에 수소 등의 가스커튼을 활용하는 경우가 있으나 메쉬벨트에 의해 구동되는 연속식 타입의 열처리로의 구조상 완전 밀폐가 어려워 가스가 계속적으로 투입되어야 하기 때문에 투입되는 가스의 양이 매우 많아 열처리 제조원가 상승에 따른 저단가의 열처리 제품에 적용에는 실질적으로 불가능하다. 현재의 열처리로의 구조 재설계하여 공기의 유입을 최대한 방지할 수 있는 구조로의 설계개선이 시급하며 ANSYS의 CAE[CFD 모듈]와 같은 시뮬레이션을 통한 열유동/구조 해석기술을 열처리로 설계에 활용하여 열처리로 실제 제작 전에 충분한 시뮬레이션을 통한 안정

화된 최적의 가스 분위기 조건을 가지는 열처리로 구조 설계가 필요함. 그러나, 중소기업의 인프라 부족 및 자체기술 활용에는 한계가 있기 때문에 우수한 연구기반을 갖춘 대학·연구기관과의 기술협력이 절실한 현실이다. 추가적으로 열처리로내의 분위기 안정화 및 생산성 향상을 위한 기구를 장착하여 품질뿐만 아니라 생산성의 향상으로 제조원가 절감을 기대할 수도 있다. 당사에서 보유하고 있는 열처리 설비 특허기술을 기반으로 대학·연구기관과의 기술협력을 통해 기존의 열처리로를 보완하여 더욱 완벽한 설비를 개발하여 현재 판매중인 열처리된 제품의 원형톱날 시장의 품질 및 가격 안정화와 더 나아가 고품질/저단가의 원형톱날의 수출력 강화에도 기대를 하고 있으며, 새로운 플랜트 설비(연속식 열처리 터널로)의 제작 및 국내 판매/수출을 기대할 수 있다는 점이 이번 연구에서 얻고자 하는 내용이다.

2. 국내외 관련기술의 현황

국내현황으로는 연속식 열처리 방식을 적용하고 있으나 구조상 완전 밀폐가 불가능하여 분위기 불균정에 의한 표면 스케일, 국부적인 경도 불균일, 평탄도 저하 등에 의한 품질수준이 일본, 독일 등의 선진기술에 비해 현저히 떨어진다. 본 과제에서 제안된 연속식 열처리 터널로 개발 방식은 주로 벌크형태를 열처리하는 칩탄 열처리 공정에서는 적용되어 사용되고 있으나, 열처리로 내부공간(높이)이 좁은 판재 열처리 공정에서는 적용한 사실이 전무하다. 최대두께 10mm의 판재를 열처리하기 때문에 가스 분위기/열손실 등을 감안하여 열선에 최대한 밀착시켜 내부공간을 최소화하여 제작하고 있는 실정이다. 국외현황으로는 일본, 독일의 탄소강 판재 열처리 기술은 풍부한 경험을 바탕으로 국내기술보다 월등히 앞서나가고 있으며 탄소강과 유사한 재질에 Ni, Cr 등의 소량의 합금원소가 포함된 다양한 재질의 공급도 가능하여 소입성 및 기계적인 특성을 향상시켜 우수한 품질의 판재를 생산하여 국내뿐만 아니라 각국에 수출하고 있는 실정이다. 탄소강 판재 주요제품(원형톱 샤크)의 기술현황으로는 일본 Kanefusa社, 독일 WESPA社 등의 업체에서 텅스텐 카바이드 원형톱, 다이아몬드 원형톱 등의 절삭공구 시장을 이끌어나가고 있으며 특히 최고의 기술이 요구되는 금속절단용 콜드 쏘는 국내시장까지 대부분 점유하고 있다. 소입공정 시 변형의 문제로 국내기술력으로는 한계

가 있는 $\Phi 500\text{mm}$ 이상의 초정밀 박판(0.5t 이하, 500mm 이상)의 열처리가 가능하여 국내 반도체용 래핑캐리어는 전량 수입에 의존하고 있다.

3. 연구 진행 현황

본 연구의 참여회사에서 보유하고 있는 열처리기술(열처리용 냉각장치/20-2000-0010662, 열처리용 정밀제어 냉각장치/특허-2013-0029298)을 기반으로 열처리 설비 자체 설계 및 제작 기술력 확보중이며, 25년간의 축적된 열처리 know-how를 통한 특수강 열처리 전문업체로 국내 탄소공구강(SK5 등) 판재 열처리 제품의 품질개선 및 국산화에 크게 기여한 바 있고, 2012년도 창업성장-건강관리연계 기술개발 사업을 통하여 “열처리 레벨링 냉각설비”을 성공적으로 개발하여 열처리 후 냉각부분에 대한 기술력은 기 확보하고 있다. 또한, 인천 내 소재대학과의 산학공동 기술개발[인하공진]은 협의 중이며, ANSYS를 이용한 CAE해석[CFD 모듈]과 같은 시뮬레이션을 통한 열유동/구조 해석기술을 열처리로 설계에 적용하여 열처리로 내부 가스유동 및 최적의 구조설계 등이 요구된다. 현재 본 과제에 대한 개선안 구상 및 설계완료 되었고, “연속식 열처리 터널로” 제작 비용 산출완료 / 자재발주 준비 중이며, “연속식 열처리 터널로” 개발에 대한 특허출원 준비 중이다. 기술개발의 차별화 및 선행특허 회피 전략으로는 참여회사는 25년간의 탄소강 판재 열처리의 경험을 바탕으로 국내 탄소강 판재의 품질향상을 위해 끊임없이 열처리 기술개발에 투자를 해왔으며 특히 원형톱의 주재료인 탄소강 상크의 국산화에 크게 기여하였다. “열처리용 냉각장치”의 원천특허를 바탕으로 2013년도에는 “열처리용 정밀제어 냉각장치”의 개발을 성공적으로 마무리하여 탄소강 판재 열처리의 품질을 한 단계 업그레이드 시켜 국내 원형톱 완제품 제조사들의 공정원가절감, 품질향상으로 품질 및 가격 경쟁력을 제공하였다. 당사에서는 열처리로 자체 설계 및 제작 기술을 기반으로 기존의 연속식 열처리 터널로의 구조상 필연적으로 발생할 수밖에 없는 단점들을 최대한 보완하는데 목적이 있다. 기존에 사용하고 있는 열처리로는 메틸알콜(CH_3OH)의 열분해가스($\text{CO} + 2\text{H}_2$)를 분위기 가스로 사용하는 적주식 열처리 방법을 적용하고 있으며 연속식 열처리 방법에 따라 완전한 밀폐에 의한 공기유입의 차단은 불가능한 구조이다. 이에 따라 분위기 가스 및 온도

의 분포가 불균일하거나 공기 등의 불순물의 유입으로 열처리 제품의 품질을 저하시키고 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 제품의 투입구 부분에 수소 등의 가스커튼 등을 장착하여 공기의 유입을 차단하기도 하는데 이는 개폐형 타입에는 적당하나 메쉬벨트에 의해 구동되는 완전히 오픈되어 있는 본 타입의 열처리로는 가스가 계속적으로 투입되어야 하기 때문에 투입되는 가스의 양이 매우 많아 열처리 제조원가 상승에 따른 저단가의 열처리 제품에 적용에는 실질적으로 불가능하다. 또한 기존의 판재 열처리로는 최대두께 10mm의 판재를 열처리하기 위한 목적이기 때문에 가스분위기/열손실 등을 감안하여 <그림 3>과 같이 열선에 최대한 밀착시켜 내부 공간을 최소화하여 제작하는 것이 일반적이다.

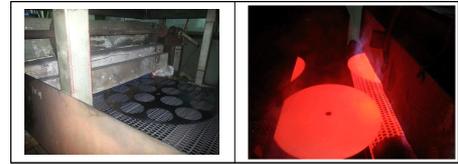


Fig. 3 Continuous tunnel gate

본 과제에서 제안된 연속식 열처리 터널로 개발 방식은 주로 벌크형태를 열처리하는 침탄 열처리 공정에서는 적용되어 사용되고 있으나, 열처리로 내부공간(높이)이 좁은 판재 열처리 공정에서는 적용한 사실이 전무하다. 열처리로 내부 상부에 임펠러/모터를 장착하여 교반시켜줌에 따라 분위기 가스가 고르게 교반되어 균일한 온도분포, 제품의 투입구부터 유입되는 공기의 차단, 분위기 가스가 일방향으로 배출되는 것을 지지하여 열손실을 줄여 열효율이 높아져서 제품이 승온되는 시간을 단축시키는 효과가 기대된다. <그림 4>는 당사에서 자체 제작한 탬퍼링로 사진이며 탬퍼링로 내부에 임펠러/모터를 장착하여 분위기 가스를 교반하여 사용하고 있다. 임펠러/모터를 장착하지 않았을 경우 약 10°C 정도의 국부적인 온도편차가 더 발생하였으며 제품의 승온시간도 증가하여 제품의 경도 불균일 문제가 발생한 경험이 있다.



<Fig. 4> Impeller photos of inside and outside for tempering furnace

이러한 경험을 바탕으로 열처리로에서 분위기 가스의 교반 시, 공기유입의 차단뿐만 아니라 내부 온도의 균일화 및 제품의 승온시간 단축 효과가 기대된다. 열처리로의 양쪽부분에 대한 기울기를 약간 줌으로써 분위기 가스가 배출되는 흐름을 저지시키는 구조설계 등 열유동 및 열처리로 구조해석 등의 시뮬레이션을 통하여 최적의 열처리로 구조 설계가 요망된다. 외부로의 열손실이나 열의 유입을 최소화시키기 위해서 열전도도가 낮은 다공질구조의 최대 1,260℃까지 사용이 가능한 고온용 세라믹 단열재 보드, 펠트 등을 다층구조로 설계되어 있다.

4. 개발목표 및 개발내용

본 연구의 개발기술은 특수강 판재의 소입 열처리 공정에 적용하기 위한 적주식 연속로에 관한 것으로 균일한 로내 가스 분위기 형성, 균일한 온도유지, 제품의 균일한 오스테나이트화, 열처리 공정시 변형을 최소화, 제품의 승온시간의 단축에 의한 불량률 최소화, 고품질화, 생산성 증대가 주목적으로 특수강 판재 안정화된 소입 열처리 공정을 통하여 우수한 치수정밀도 및 기계적 특성을 갖는 고품질의 판재제품의 생산하기 위한 열처리 터널로 제작을 산학공동으로 하고자 함에 있으며 다음 개발목표 및 내용을 연구기간을 통해 달성하고자 한다.

1. 열처리 제품의 변형량(평탄도) 품질 개선 : 판재Φ350 기준 0.15mm에서 0.10mm 으로 하고자 한다.
2. 제품의 기계적 특성(경도) 균일화 : ±2HRC에서 ±1HRC로 하고자 한다.
3. 열유동 해석에 의한 열처리로 내부 온도 균일화 개선 : ±5℃에서 ±2℃로 하고자 한다.
4. 제품의 승온시간 단축 : 기존대비 약 20% 단축(생산량 증대 효과)을 꾀하고자 한다.
5. 생산량 20%증가에 따른 원가절감 효과를 얻고자 한다.
6. 불량률 50%감소에 따른 재작업 비용절감 효과를 기존 1%에서 0.5% 로 감소시키고자 한다.

참고문헌

[1] Han, J. H, Atmosphere Control of Drip Feed Type Gas Carburizing, Journal of the Korean Society for Heat Treatment, Vol.2, No.3, pp.42-45, 1989.
 [2] Robens. Jean, Phontein. Michale, Electric Induction Gas-Sealed Tunnel Furnace,

International Patent.2010.

[3] Ahn, B. M., Sintering and Heat Treatment Characteristics of Al-Cu-Mg Powder Metallurgy Alloy for Lightweight Automotive Parts, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 23, No. 2, pp.152-156, 2014.
 [4] Kim. H. S, Lee. J. S, Cho. D. H, Kang. S. W, Na. T. Y, Jang. H, Tribological Properties of Heat-resistant Cast Steel Discs: Effect of Thermal Conductivity, Journal of the Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers, Vol. 30, No. 1, pp.29-35. 2014.

후기

본 논문은 2013년도 산학연컨소시엄 도약기술개발사업으로 수행한 “연속식 열처리 터널로 개발”연구에서 참여기업인 (주)제일메탈테크와 공동연구되었음.