

스트립 캐스팅 공정 및 레이저를 이용한 롤 표면처리 방법

김윤하, 주문갑, 박철민, 최주태, 임충수, 어지호*
 포항산업과학 연구원, 포항공과대학교*

LASER TEXTURING PROCESS FOR THE STRIP CASTING ROLL

Y. H. KIM, M. G. JOO, C.M.Park, J.T.Choi, Lim Choongsoo, Uh Jiho*

Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang, Korea, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea*

Abstract - Laser texturing process for the strip casting-roll is investigated and is realized using PC system and Argon Ion Laser. This laser system can imprint any dimple or patterns on the roll-surface with the resolution of μm unit. Key words: Strip casting process, Laser texturing, Argon Ion laser, E/O modulator, DSP board

1. 서 론

스트립 캐스팅 공정(Twin-roll strip casting process)은 반대 방향으로 회전하는 두개의 롤 사이에 있는 섀프(sump)에서 일어난다. 턴디쉬(tundish)로부터 용강이 노즐을 통해서 두개의 롤 사이의 섀프에 공급되면 이는 0.2초 내에 두 롤 사이에서 응고되어서 박판으로 압하된다. 이때 응고되는 박판은 롤 반발력(Roll Separation Force, RSF)을 발생시킨다. 두 롤의 측면은 용강이 유출되는 것을 방지하기 위하여 세라믹 사이드 맵으로 막혀있다. 용강의 응고 능력은 주조 롤의 냉각능력에 비례한다. 따라서 두 롤 사이의 거리, 주조 속도, 섀프 내의 용강의 높이에 영향을 받는다. 롤 갭이 너무 크거나 혹은 주조 속도가 너무 빠르면 응고점이 롤 넘(nip)의 중심선보다 더 밑으로 내려가게 되어 롤 반발력이 점점 작아지게 되고 이는 용강의 미응고 및 판파단을 발생시킨다.

써 스트립 캐스팅의 목표인 일정한 두께와 일정한 압하력의 스트립을 생산할 수 있다[1]. 그림 1에는 포항제철의 스트립 캐스터의 주요 제어 루프를 나타내었다. 스트립 캐스팅 공정에서 롤의 표면상태는 주변 품질에 큰 영향을 미치는 변수이다. 연구결과에 의하면 무결함 주변을 제조하기 위해서는 주변의 열 응력을 효과적으로 분산시킬 수 있도록 롤의 표면처리(texturing)를 해야 한다[2]. 이를 위해서 롤 표면에 딴뿔(dimple)을 가공하는 간단한 기계적인 가공법(knurling) 방법이 있지만 이 가공법은 여러 가지 기술적인 제약으로 인해 원하는 크기와 분포를 가진 딴뿔을 형성하기 어렵다. 무결함 주변을 제조하기 위해서는 임의로 딴뿔의 크기와 형상을 제어하고 분포할수있는 롤 표면처리 기술이 필요하다. 롤 표면처리 기술로는 기계적가공, 방전가공, 플라즈마 가공, 레이저 가공, shot blaster 가공, 에칭 가공 등이 알려져 있는데 shot blaster 방식은 표면처리의 제어가 어렵고 표면상태가 매우 불균일한 단점이 있다. 또한 통상적인 에칭 방법으로는 스트립 캐스팅용 롤 표면의 딴뿔 분포를 효과적으로 개량할 수 없다는 점과 마스크(masking) 공정에서 패턴의 불균일을 야기할 수 있는 문제가 있다. 따라서 상기한 문제점들을 해결할 수 있는 기술로서 레이저 감광-에칭 기법이 있다[3][4]. 레이저 감광-에칭기법은 에칭가공의 주 요소기술에 레이저 감광을 접목함으로써 에칭 가공시 발생 가능한 문제점들을 해결할 수 있다는 장점이 있다. 본 보고서에서는 이 기술을 S/C process에 적용할수 있는지 가능성을 타진하였으며 특히 제어 시스템과 이상적인 무늬 제어를 위한 알고리즘 및 MMI의 구성을 다루었다.

2. 롤 표면 처리용 레이저 감광 설비 개발

2.1 공정의 개요

본 기술은 UV(ultra-violet) 레이저를 이용하여 롤 표면에 원하는 무늬를 각인 하는 공정으로서 다음과 같은 단계들로 이루어진다.

- 1) UV 파장 대역에서 감광 효율이 높게 나타나는 광경화성 폴리머 수지를 롤 표면에 도포한다.
- 2) 도포된 광 경화성 수지 위에 UV 레이저 빔의 출력을 선택적으로 조사한다. 당시 UV 레이저 빔의 선택적인 조사는 폴리머 수지 위에 원하는 패턴의 감광 무늬를 형성하기 위한 것으로써 연속적으로 발진하는 레이저 빔을 E/O 모듈레이터(electro-optic modulator)를 시간적으로 제어함으로써 이루어진다.
- 3) 레이저 빔으로 선택적으로 감광한 후 감광된 물을 현상한다. 당시 레이저 빔에 의해 조사되지 않은 부분의 폴리머 수지는 제거된다.
- 4) 현상된 롤 표면을 에칭하여 각인한다. 롤 표면을 세척하여 표면에 잔류하는 폴리머 수지를 제거한다.

2.2 광학 시스템

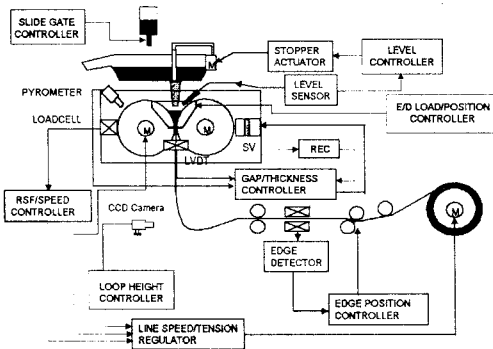


그림 1 스트립 캐스팅 공정의 주요 제어 루프

반대의 경우에는 응고점이 위로 상승하게 되고 높은 롤 반발력을 발생시킨다. 그러므로 롤 갭, 주조 속도, 롤 반발력은 박판의 응고성을 나타내는 대표적인 주조 파라미터 들이며 롤 반발력은 롤 갭과 주조 속도 사이의 상호 관계에서 나타나는 결과이다. 그러므로 롤 갭과 주조 속도 사이에는 특정의 관계가 성립하게 된다. 이러한 아이디어를 이용하여 세가지의 주조 변수를 변화시킴으로

(1) 레이저 시스템

- ① UV 레이저 (333.6nm~363.8nm multi line)
개발에 사용한 레이저의 파위는 원래 사양이 최고 1W의 아르곤 이온 레이저로서 밀터 라인 (333.6nm ~ 363.8nm)의 특성을 지닌다. 현재는 광학 시스템의 변경을 통하여 363.8nm의 파장을 갖는 싱글 라인 레이저로 수정하였다.
- ② E/O 모듈레이터 (10MHz bandwidth, 250~850nm wave length)

(2) 광학 시스템

- ① Beam Expander
- ② Achromatic 렌즈

2.3 제어 시스템

공정의 가능성을 타진하기 위하여 냉연에 사용되는 소형 롤을 선정하였다. 스트립 캐스팅 롤과는 선속도 차이로 인한 덤플 감광 시간의 다른 차이는 없다. 그림 2에서 보듯이 시스템 설비는 레이저 및 레이저 빔의 출력을 제어하는 E/O 모듈레이터, 롤 구동 장치, 광학계 대차를 이동시키는 횡행 장치와 이를 구동시키는 스텝모터, 롤 위치를 측정하는 엔코더, 패턴을 저장하고 이 패턴에 따라서 E/O 모듈레이터로의 출력을 제어하는등 이들을 통합적으로 관할하는 프로세서 보드, 프로세서 보드가 장착된 호스트 PC 및 MMI 환경(그림 3)으로 구성되어 있다.

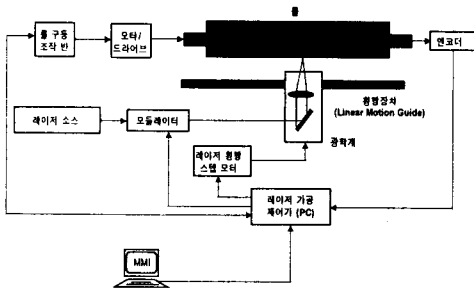


그림 2 무늬 각인 시스템의 하드웨어 구성도

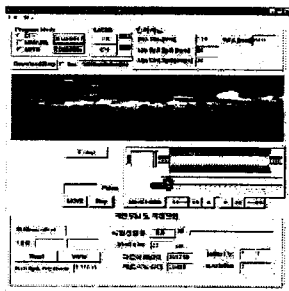


그림 3 무늬 감광 시스템의 MMI 구성도

횡행 장치의 정밀도는 μm 급이고, 스텝모터의 정밀도는 최대 50,800 steps/rev이다. 냉연롤용 엔코더는 50,000 pulse/rev의 정밀도를 가진다. 프로세서 보드는 DSP 보드를 메인보드로 사용하였고, 설비의 위치 제어를 위해서는 M44MOT 보드를 사용하였다. 이는 DSP보드에 연결되며 입출력을 담당하는 전용보드이다.

실 시간 모션 컨트롤러 보드

PC에 탑재되는 DSP 보드로서 PC는 호스트, DSP 보드는 슬레이브 역할을 하며 본 프로세스의 핵심적인 연산 작업을 수행한다. 기본 사양은 다음과 같다.

- ① DSP 보드 : M44 40 MHz, TMS 320C44 32bit floating-point Tools
- ② Debugger : Code Hammer Debugger with Code Composer and JTAG controller
- ③ M44MOT : 4 channel motion control
- ④ Zuma toolset

스텝 모터의 정밀 제어

레이저 횡행 장치의 반복위치 및 위치 결정정도, 주행 평행도 등의 성능을 결정하는 스텝 모터의 최대 정밀도는 50,800 steps/rev이다. 스텝 모터의 신호 입력방식은 표준 입력 방식인 step/direction 입력과 CW/CCW 입력 방식이다. 제어 방식에 있어서는 인터럽트를 이용한 스텝 펄스 생성과 일정한 펄스 생성 주파수의 시간 함수를 이용한 polling 방식으로 정확한 위치로의 위치 제어 능력을 지닌다. 200~300 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 및 20~30 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 정속도 스텝 모터 제어가 가능하다.

엔코더의 데이터 고속 처리

롤 표면에 무늬 각인시 롤을 회전시키며 원하는 위치에 감광하게 되는데 이를 위해서는 롤의 절대위치를 측정해야 한다. 따라서 레이저 빔 크기보다 더 작은 위치를 측정하는 고 분해능의 엔코더가 필요하다. 압연 롤의 경우 롤이 600rpm의 속도로 회전하므로 엔코더는 50,000 pulse/rev의 정밀도를 가지며 분해능이 높아 라인 드라이버 방식과 quadrature 모드 출력 방식을 쓰고 있다.

메일 박스 인터럽트와 Global 메모리를 통한 호스트 PC와의 데이터 교환

Host PC와 DSP 보드는 동일 PCI 버스를 공유하고 있으므로 이를 통하여 통신이 이루어진다. 이벤트성 통신에는 메일 박스 인터럽트가 사용되고 레퍼런스 또는 피드백 데이터와 감광할 때 쓰일 패턴의 조각들은 공유 메모리인 M44 보드의 global 메모리를 통하여 이루어진다. 통신 항목은 롤의 회전속도, 대차의 현재 위치, 대차 출력펄스, 레이저 작업 상태 등 DSP 보드의 피드백 관련 정보와 PC(호스트)에서 DSP(슬레이브) 보드의 명령어 정의, 작업 모드 상태, 패턴의 정보등이다.

레이저 빔의 정밀 제어

롤의 크기는 1380mm이고 1 회전 당 원주 길이가 433,540 μm 이다. 롤이 600rpm으로 회전하는 경우 4,335,400 μm 의 길이를 레이저 빔이 초당 스캔 해야 한다(600rpm=10rps). 그러므로 레이저 빔의 직경이 30 μm 인 경우 144,513/sec의 레이저 빔 on-off 신호를 발생시켜야 한다. 즉, 컨트롤러에서는 최대 6.9 μs 의 on/off 기간 및 rising/falling-time이 거의 없는 구형파가 필요하다. 가공하려는 무늬의 정밀도를 고려할 때 레이저 빔의 크기는 20~30 μm 정도로 관리해야 한다.

3. 덤플 제어 알고리즘

상기한 시스템의 개별적인 동작들이 통합되어서 사용자가 원하는 패턴을 롤 표면에 감광하게 된다. 롤은 정 속도로 계속 회전시키고 레이저 빔 반사경 대차

역시 물의 횡축 방향으로 정속도로 이동시키는데, 그 속도를 물이 1회전할 동안 하나의 무늬 폭만큼 움직이도록 한다. 이 경우 무늬 폭들이 나선형으로 물에 감광되어 무늬 폭 사이의 동기를 맞출 필요가 없다. 만약 무늬 폭(레이저 빔의 지름 크기)을 20 μm 라 하면 물 전체 무늬가 원하는 무늬보다 20 μm 만큼 각인 진행방향으로 흐르겠지만 이는 전체 무늬 형상으로 볼 때 고려하지 않아도 될 만큼 미세하므로 무시하기로 한다. 물에 원하는 무늬를 감광하기 위해서는 호스트 PC에 저장된 무늬를 DSP 보드의 global 메모리로 옮겨야 한다. 그런데 그림의 데이터가 크기 때문에 한번에 모든 정보를 DSP 메모리에 옮겨놓을 수는 없다. 따라서 MMI 환경하에서 각인 작업 도중 계속 호스트 PC와 DSP 보드가 통신을 하면서 정보를 옮기게 된다(그림 4).

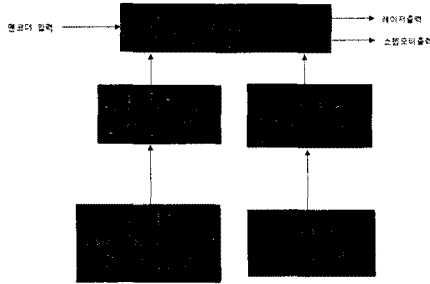


그림 4 무늬 각인 시스템의 소프트웨어 구성도

또한 무늬 정보인 0과 1들의 모임을 연속된 개수로 인코딩 하여 제어함으로써 무늬 정보의 1:1 비트맵 제어보다 연산의 속도를 빠르게 하여 무늬를 정교하게 만들도록 노력하였다. 이 경우에는 모뮬레이터 on/off 제어에 걸리는 시간을 절약함으로써 프로세싱 속도를 높일 수 있기 때문이다.

4. 결 과

상기한 기술로 물 표면에 폴리머 수지를 도포한 후 레이저로 원하는 무늬를 감광하여 물을 예칭하는 방법으로 물 표면에 마이크로 패턴을 각인하였다. 실험 조건은 다음과 같으며 사진은 현미경으로 16배 확대한 것이다.

실험 조건

- 레이저 파워 : 0.38W
- 레이저 빔 직경 : ca.30 μm
- apochromatic 렌즈 사용.
- 물 속도 : 120rpm(그림 5,6)
- 음각 : 덤플 무늬가 음각(덤플 이외의 것을 조사)
- 양각 : 덤플 무늬가 양각(레이저가 덤플 무늬를 조사)
- 인코딩 제어

실험 결과

- 결과사진에서 밝은 부분은 예칭에 의해서 녹아 내린 부분이고 검은 부분은 레이저 빔에 감광되어서 예칭액으로부터 보호되어 남아있는 부분이다.
- 덤플 크기의 목표 값과 측정값이 조금씩 다르게 나타나는 이유는 모뮬레이터의 레이저 빔 on/off 비율이 이상적이지 못하기 때문이다(그림 5,6). 무늬의 정보를 사전에 0과 1의 그룹별로 인코딩 하여 제어함으로써 무늬들이 보다 정교하게 각인되도록 하였다. 무늬를 더욱 정교하게 각인하기 위해서는 레이저 빔의 크기를 더 정밀하게 다루어야 한다. 실험에 사용된 레이저 빔의 크기는 약 30 μm 인데 20 μm 의 크기가 이상적일

것으로 판단된다. 가공속도는 알고리즘의 최적화 및 하드웨어의 업그레이드를 통해서 얻을수있다.

- 필름-마스킹을 이용해 예칭하여 완료된 캐스팅 물 표면의 덤플 무늬(그림 7)와 비교해 볼 때 정교함의 차이가 거의없었다.

<ul style="list-style-type: none"> • 음각, 인코딩 (덤플당 20x20의 비트맵 이미지) • 덤플 직경 목표 값 : 600 μm • 덤플 직경 측정 값 : ca.680 μm 	<p>그림 5</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 양각, 인코딩 • 덤플 직경 목표 값 : 600 μm • 덤플 직경 측정 값 : ca.500 μm 	<p>그림 6</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 양각 • 필름-마스킹에칭. • 덤플 직경 목표 값 : 600 & 500 μm • 덤플 직경 측정 값 : ca.660 & 550 μm 	<p>그림 7</p>

[참 고 문 헌]

- [1] Y.H.Kim, D.S.Lee, M.G.Joo, T.Kang and K.N.Paek POSCOs Twin-Roll Strip Caster and its Control, IASTED International Conference ASC2000, July 24-26, 2000, in Banff, Alberta, Canada
- [2] 결과 보고서 1999~2000 S/C 공정에 의한 고부가 가치 강판제조기술 개발, 포항산업과학연구원
- [3] 한유희, 김인용, 박정호, 이재훈, 정승복, 서정 레이저를 이용한 무늬각인용 압연롤 제작 제8회 레이저, 가공기술 심포지움, 11~12 November 1997, 한국 기계 연구원
- [4] United States Patent, Patent Number 4,959,275. Date of Patent Sep. 25, 1990 Process and Equipment for micro-pattern forming on roll surface, metal sheets for pressworking prepared by the roll and method of preparing same