

고속도강 선·봉재의 중심부 용융현상방지를 위한 압연공정 해석

이수연¹, 정효태^{1#}, 하태권¹, 정재영²

Analysis of Wire/Bar Rolling Process of High Speed Steel for Prevention of Center Fusion

S. Y. Lee, H. T. Jeong, T. K. Ha, J. Y. Jung

Abstract

The temperature distribution of high speed tool steel wire/bar during high speed hot rolling procedures has been studied in this study. The tool steels wire/bar show severe temperature gradient during rolling procedures and the temperature of center part much higher than that of the surface. This temperature gradient accumulated after every rolling procedure and the center of rolled wire/bar could be remelt in a certain stage to cause inside defects. In the present study, the temperature distribution was simulated using finite element method and the processing parameters such as rolling speed, cooling condition, has been discussed to prevent the temperature increases of center wire/bar.

Key Words : Wire/Bar Rolling, Center Fusion, Finite-Element Analysis, High Speed Steel

1. 서론

고속절삭을 요구하는 공구용 원소재로 사용되는 고속도 공구강은 소재부품을 생산하기 위한 모든 기계절삭용 또는 절단용 부품에 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 국내에서는 고속도강의 열간성형이나, 미세조직 제어에 대한 정량적인 연구 자료가 거의 없으며, 산업계의 생산도 매우 작은 형편으로서 대부분 일본에서 수입하고 있는 실정이다.

이는 소형선재의 고속압연시 발생하는 중심부 용융결함에 대한 고속압연기술의 미비, 가열에서 압연 및 열처리에 이르는 공정제어기술 미흡으로 선재의 표면 탈탄불량에 대한 표면탈탄제어기술 부족과 강괴 응고시 탄화물 균질화, 최적합금설계, 공정탄화물 균일분해기술과 관련된 탄화물제어기

술 미비 등의 고속도공구강 생산을 위한 기반기술을 확보하지 못하였기 때문이다.

본 연구에서는 고속도공구강 생산을 위한 기반기술 중에서 소형선재의 고속압연시 발생하는 중심부 용융현상을 해석하여, 그 원인을 유한요소해석을 통해 이해하고, 중심부 용융현상을 억제할 수 있는 공정조건을 해석함으로써 소형선재의 고속압연기술을 확립하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 고속도강의 고속선재의 연속적인 압연공정에 대한 소성변형거동 전산모사 예측, 고속선재 압연공정에 따른 변형거동 및 온도변화를 해석하였다. 고속선재 압연공정에서 발생하는 중심부 용융현상을 제어하기 위하여, 1회 압연공

1. 강릉대학교 금속재료공학과
2. 포항산업과학연구원 신금속연구실
강릉대학교 금속재료공학과,
E-mail:htjeong@kangnung.ac.kr

정에 대한 공정변수의 변화가 고속선재 중심부의 온도 특성에 미치는 영향을 해석하고, 연속적인 압연공정의 중간과정과 최종압연 후의 고속선재 중심부의 온도특성을 변형특성과 함께 해석하였다. 이러한 해석을 통하여 중심부 온도상승에 대한 원인을 해석하고 이를 제어하기 위한 공정변수들의 영향을 예측하여 중심부용융현상을 제어하기 위한 공정조건을 예측하였다.



Fig. 1 Example of Center Fusion of High Speed Tool Steel

2.1. 재료

고속도강의 소형선재 고속압연공정의 유한요소 해석을 위해 실제 M2급 고속도공구강과 M42급 고속도공구강의 온도에 따른 변형률-응력의 유동 곡선이 필요하므로 측정된 고온소성변형특성을 비교하여 가장 비슷한 재료로 AISI-D3(900℃~1200℃)의 고온소성변형특성을 선택하여 선재의 재료물성으로 사용하였다[1]. 그림 2 와 같이 AISI-M계열과 D계열, A계열, SDK61, AISI1045 등의 고온인장특성을 비교해 본 결과 AISI-D3(900℃~1200℃)의 고온인장특성이 M계열의 고온인장특성과 거의 동일함을 알 수 있었다. 표 1 과 같이 고온에서의 온도특성을 비교해보아도 AISI-M계열과 D계열이 AISI1045와 비교하여 보면 거의 동일한 수준임을 알 수 있었다.

Table 1 Thermal Typical Properties of AISI-M, D, 1045 Steels

AISI	Thermal Expansion (10 ⁻⁵)	Specific Heat Capacity(J/Kg·K)
M계	1.26	460.2
D계	1.31	460
1045	1.48	586

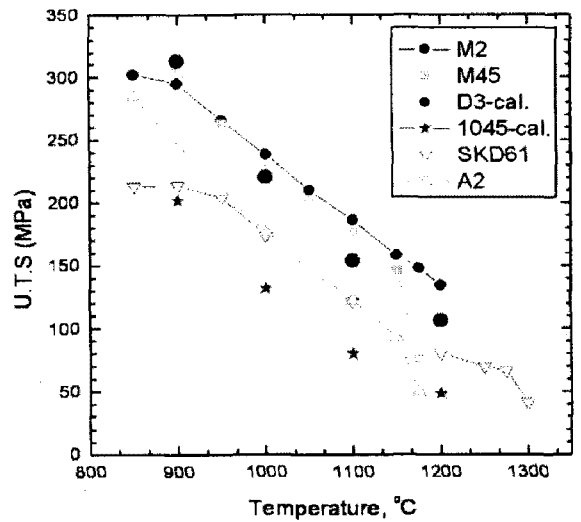


Fig. 2 High Temperature Tensile Strength of High Speed Tool Steels

2.2. 공정조건

2.2.1. 1회 압연공정조건

고속도강 소형선재의 고속압연공정의 1회 압연에 대한 공정변수에 따른 응력과 온도특성 변화를 먼저 해석하였으며 이를 표 2 에 정리하였다 [2]. 1회 압연공정 전상모사에서 주요한 영향을 미치는 공정인자를 분석하고, 공정변수에 변화를 주어 그 영향을 분석하였다.

Table 2 Conditions for Single Path Rolling of High Speed Steel

공정변수	공정조건	비고
압연속도	40m/sec	작업조건
압연롤 온도	30℃	가정
압연롤 크기	156.8mm	Morgan mill 최 종 압연롤 크기
선재 온도	870℃	작업조건
선재 재질	AISI-D3 (900℃~1200℃)	M2, M42와 유사조건
가공열 비율	0.9	Deform2D v9.0
마찰계수(shear)	0.3	문헌조사
열전달계수	11W/m ²	Deform2D v9.0
압하율	15.4%(6.5t→5.5t)	작업조건과 유사조건 가정
변형조건	평면변형	단순화 가정

2.2.2. 4회 연속압연공정조건

선재의 온도는 압연변형 동안의 변형열 발생에 의한 온도의 상승과정과 압연공정 사이의 이동시간의 표면에서부터의 냉각과정의 경쟁에 의해 결정된다. 이에 연속압연공정을 통해 선재의 특성변화를 압연공정만을 고려한 연속압연공정과 압연공정과 냉각시간을 고려한 연속압연공정으로 나누어 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 1회 압연공정모사를 통한 압연공정변수의 영향 해석

— 압연속도의 영향

선재의 압연속도를 5, 10, 20, 40, 80m/sec로 변화시킨 결과 압연속도가 늦어짐에 따라 압연률과 선재의 접촉시간이 길어지고 저온의 압연률을 통하여 선재의 열이 쉽게 빠져나가는 것으로 나타났다. 압연속도에 따라서 선재의 온도분포변화는 가져오지만 약 20℃정도에 그치는 것으로 나타났다.

— 마찰계수의 영향

선재의 마찰계수를 0.2, 0.3, 0.4, 0.5로 각각 변화시킨 결과 마찰계수가 증가함에 따라 선재의 표면부의 온도는 미세하게 상승하고 있으나 그 변화폭이 약 2℃ 정도이므로 압연속도의 영향과 비교해보면 매우 영향이 적음을 알 수 있다.

— 열전달계수값의 영향

열전달계수값은 5, 11, 30W/m²으로 변화시켜 그 영향을 해석하였다. 열전달계수값에 따른 선재의 온도분포 변화는 단지 좁은 표면 층에서만 영향을 받았으며, 중간층 이하 중심부에서는 거의 변화하지 않음을 확인할 수 있었다.

— 압연률 온도의 영향

압연률의 온도는 30℃와 선재와 비슷한 온도 800℃의 경우를 비교 해석하였다. 선재 표면부 온도는 압연률 온도 800℃일 때 약 5℃정도 높은 것을 알 수 있었다. 그러나 중심부의 온도분포는 압연률의 온도차이와 상관없이 거의 동일하였다.

— 선재온도의 영향

선재의 온도를 770, 870, 950, 1050℃로 변화시켜 선재의 초기온도가 압연후의 변형률 및 온도 분포에 미치는 영향을 해석하였다. 선재의 초

기온도에 따라 선재의 온도가 크게 차이가 나지만, 여전히 표면부의 온도가 중심부의 온도보다 높은 것을 확인할 수 있다. 여기서 특이한 점은 선재의 초기 온도가 높을수록 압연공정 후 상승하는 온도 폭이 크다는 것이다.

— 압연공정간의 이동시간의 영향

압연공정 후 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0초 경과하였을 때의 선재온도변화를 비교하였다. 선재 표면을 통하여 열이 방출 됨으로써, 압연직후의 높은 표면부의 온도가 약 0.05초 경과 후 급격히 감소하여 중심부와 표면부의 온도 차이가 거의 없어짐을 알 수 있다. 이후 시간이 경과함에 따라 표면 층이 상대적으로 급격히 냉각됨으로써, 중심부가 표면부보다 높은 온도를 유지하게 된다. 또한 시간이 2초 이상 경과하더라도 가장 낮은 온도를 나타내는 표면부의 온도는 초기 선재의 온도보다 높은 온도를 나타내고 있다. 이는 표면부가 공기 중에서 서냉되는 조건에서는 냉각이 충분히 이루어지지 않는다는 것을 의미하며 실제 압연공정중의 냉각수에 의한 냉각조건을 모사하여야 함을 알 수 있었다.

3.2. 4회 연속압연공정모사를 통해 선재온도 분포해석

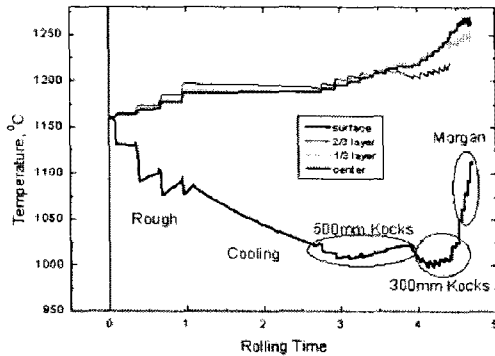
— 압연공정만을 고려한 연속압연공정에서의 선재온도

대류조건을 고려하지 않고 압연공정만을 생각하여 압연률의 온도를 200℃와 960℃로 두고 비교하였다. 그 결과 압연률의 온도가 낮을 때가 높을 때에 비해 선재의 온도 상승이 4회 연속압연 후 약 10℃정도 낮음을 알 수 있었다. 압연률 온도 960℃에서 대류계수 0.02주어 대류를 고려하지 않을 때와 비교하였을 때 선재의 냉각이 대류를 고려한 경우가 약간 촉진된다는 것을 알 수 있었다.

— 압연공정과 냉각시간을 고려한 연속압연공정에서의 선재온도

압연률의 온도는 960℃, 대류계수 0.02, 그리고 이동시간을 1초와 3초를 주고 그 결과를 비교하였다. 소성변형이 이루어지면서 표면이 온도가 순간 높아졌다 다시 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 중심부의 온도가 가장 높고 표면층이 가장 낮은 온도 분포를 보임을 볼 수 있었다. 또 이동시간이

짧으면 중심부와 표면부의 온도가 전체적으로 상승하고 이동시간이 길면 온도의 상승선이 완만함을 확인할 수 있었다. 대류계수를 0.1, 0.2, 1.0, 5.0로 냉각조건 변화시켜 살펴본 결과 대류계수 값이 커질수록 표면부는 냉각되고 중심부는 온도 상승 또는 유지가 이루어지는 것을 알 수 있었다.



**Fig. 3 Change of Temperature by Thickener
Calculated during Overall Rolling Process Adopted
in the Line
(Final rolling speed 40m/sec, Cooling)**

위의 결과들로 미루어 보아 선재의 온도상승을 억제하기 위한 냉각공정이 오히려 선재의 중심부 온도상승을 촉진하는 결과임을 알 수 있었다. 실 조건과 같이 압연고정 중 냉각조건을 주고 최종 압연 선 속도 40m/sec 의 전체공정 연속압연모사의 결과를 살펴보면 그림 3 과 같은 결과를 얻게 된다. 이에 압연공정 간의 시간간격을 늘린 것이 선재중심부의 열이 표면으로 이동하여 압연공정 후반부에서 중심부의 온도상승이 억제되고 표면과의 온도차이가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 또 최종압연속도 감소에 따라 중심부 온도상승을 억제하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 조압연 공정에서는 조압연의 속도가 감소함에 따라 압연롤과 선재의 접촉시간이 길어지므로 압연롤에 의한 선재표면의 냉각이 현저하게 이루어짐을 알 수 있다. 조압연 공정의 선재표면의 급격한 냉각은 조압연 이후의 모든 압연공정에서 이루어지는 것과 비교할 수 없을 만큼 현저하다. 선재표면의 급격한 냉각은 중심부

온도상승의 주요원인이므로 가능한 조압연의 압연속도를 증가시키고 냉각공정을 최소화하는 것이 중심부 온도상승을 억제하는 가장효과적인 방법이 될 것이다.

4. 결론

압연시 소성가공열의 영향으로 인해 중심부용융현상이 생기게 된다. 중심부에는 공극이 발생되거나 용융이 발생한 부위가 재결정 조직이 아닌 주조조직이 되어 재료의 품질에 치명적인 악영향을 미치게 된다. 이 같은 현상의 원인은 압연소재의 변형응력, Roll 과의 마찰력, 소재표층부에서의 열전달 등 복합적인 메커니즘에 의해 소재적경기준, 표층부 밑 3/4D 정도에서부터 가공열이 축적되고 이 열들은 압연과정에서 중심부로 점차 이동하여 최종적으로 중심부용융을 유발시킨다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 소재의 표면이 빨리 냉각될수록 표층부와 소재내부간 Metal Flow 상의 변형 저항 차가 더욱 심해져 3/4D 부위의 가공열 축적을 가중시킨다는 사실도 확인할 수 있었다.

유한요소해석을 통해 압연초기 조압연에서는 Line Speed 를 증가시키고 사상압연에서는 Line Speed 를 감소시키는 방향으로 실 고속 선재압연에서의 중심부용융을 억제하기 위한 최적 작업조건임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 시행하는 부품·소재 기술개발사업으로 기술개발 과제 연구비 지원을 통해 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K.J. Bathe: "Finite element procedures in engineering analysis", Prentice-Hall, 1987.
- [2] DEFORM 2D Ver. 9.0, Scientific Forming Technologies Corporation, 5038 Reed Road, Columbus, Ohio, 43220.