

가공열을 이용한 합금강 단조품의 열처리

권용남¹, 김태옥¹, 권용철², 박동규², 이상규²

Direct Heat Treatment of Alloyed Steel Forging

Y.-N. Kwon, T. O. Kim, Y. C. Kwon, D. G. Park and S. G. Lee

Abstract

In the present study, direct quenching of alloyed steel after hot forging was simulated using commercial finite element program, FORGETM. A typical heat treatment of alloyed steels consists of quenching for hard martensite and subsequent tempering for toughness. In the practice, forgings which cool down to room temperature are heated to temperature of austenite regime. As investigated in the present study, direct quenching of hot forged stock would be beneficial in terms of energy saving. This process has already been propose and termed as ausforging or forged hardening. However, it is well known that quenching temperature would be the most critical factor to control heat treated forging properties. And it is very difficult to control quenching temperature when forged stock gets directly quenched after forging. In this study, we have calculated final forging temperature of stock. Also, quenching simulation was conducted using a series of material parameter which were also calculated using JMATpro, a commercial program for physical properties of materials.

Key Words : alloyed steel, heat treatment, finite element simulation, forging

1. 서론

일반적으로 열간단조품의 기계적 물성제어를 위한 열처리는 불림(normalizing) → 담금질(quenching) → 뜨임(tempering)으로 구성되어 있다. Ac3 온도 이상에서 노말라이징 처리를 실시하여 조직의 균질화, 결정립의 미세화에 의한 기계적 성질을 향상시킨다. 담금질을 실시할 단조재의 전 열처리로 사용이 되고 있으나 재질의 편차가 적을 경우 생략도 가능하다. 하지만, 이상의 과정을 통하여 열간단조품의 기계적 물성을 제어할 경우 열간단조 이후 2 번의 재가열 과정이 필요하며 이는 제조 원가의 상승에 원인이 된다. 담금질시 일정한 온도 이상으로 소재를 가열한 후 급냉하는 처리로 마르텐사이트 조직을 얻기 위하여 실시한다. 담금질시 냉각속도에 영향을 주는 인자는 냉각매

체, 부품의 형상, 담금질 온도, 매체 온도 등 다양한 인자가 상호 영향을 미친다. 열간 단조공정인 경우 단조 후 단조품이 담금질 시작온도 이상에 있을 경우 담금질 효과를 얻을 수 있다. 이상의 방법은 단조담금질(forged hardening or ausforging)이라 불리며 열처리 비용을 크게 줄이는 동시에 동일한 물성을 얻을 수 있다. 과거에는 단조품을 서서히 냉각시킨 후에 재가열하여 담금질했으나 이렇게 하면 산화 탈탄이 발생할 뿐만 아니라 에너지의 추가적인 사용이 필요하므로 단조 후 직접 냉각을 실시하는 방향으로 연구가 진행되었다.

하지만, 대부분의 탄소강 단조품의 경우 부품의 형상에 따라 질량 효과가 발생하며 이로 인해 부위에 따라 불완전한 담금질 결과를 얻게 되는 경우가 많다. 이러한 기술은 일종의 가공열처리기술로도 분류될 수 있는 새로운 열처리 기술이다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 융합공정연구부
2. 한일단조공업(주) 기술연구소
권용남: 재료연구소, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

본 연구에서는 상용 유한요소프로그램인 FORGE를 이용하여 단조용 소재로 사용되는 합금강의 열처리 공정 해석을 수행하였다. 이를 통하여 단조 후 급냉 공정을 통해 원하는 미세조직 및 물성을 확보할 가능성을 확인하고 실제 산업에 적용할 수 있는 방안을 검토하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용한 강은 합금강 1524로 성분은 표 2에 나타내었다. 1542 강재의 열간단조를 위한 가열온도는 1200°C 부근에이 며 열간단조 종료온도는 약 1050°C에서 1200°C 사이로 측정되고 있다. 기존 공정에서는 상온까지 공냉후 마르텐사이트를 형성하기 위하여 별도의 퀘칭노로 이동하여 재가열을 실시하고 있다.

열간단조 해석을 위하여 900°C에서 1250°C 구역에서 변형율속도에 따른 응력-변형율 곡선을 압축시험을 통해 얻은 후 단조해석에 사용하였다.(그림 1) 또한, 1524 강재의 퀘칭과정중 발생하는 상변태 특성을 조사하기 위하여 dilatometer를 사용하여 연속냉각변태곡선을 실험적으로 구하였으며 강재의 kinetic 물성을 계산하는 JMATpro를 이용하여 연속냉각변태곡선 및 등온변태곡선을 계산하여 열처리 해석에 사용하였다.

해석 결과의 검증을 위하여 간이 열처리 장비를 이용하여 해석과 동일한 조건에서 열처리 시험, 미세조직 및 인장시험을 실시하였다.

Table 1 Comparison of measured roughness data

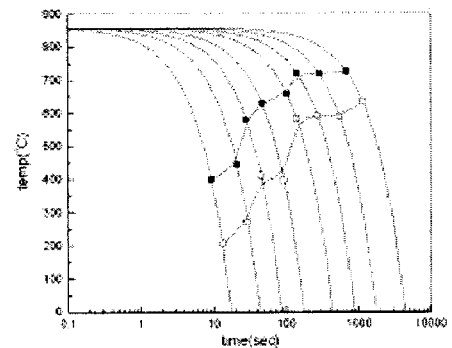
	(wt.%)						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
0.22	0.25	1.64	0.009	0.011	0.25	0.049	

3. 실험 결과

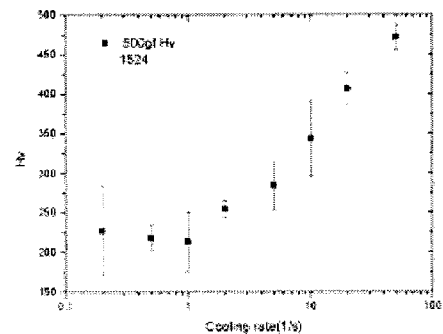
3.1 1524 강의 물성

열간단조품의 퀘칭과정중 발생하는 상변태 특성을 조사하기 위하여 dilatometer를 사용하여 연속냉각변태곡선(continuous cooling transformation curve, CCT)을 실험적으로 구하여 그림 1에 나타내었다. 그림 2는 1524 강의 온도 및 변형율속도

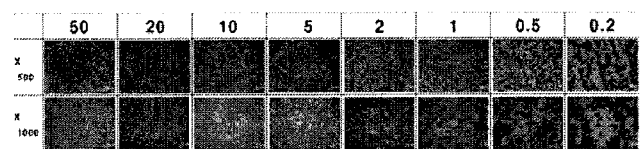
변화에 따른 유동응력을 나타낸 그림으로 900~1300°C의 온도 및 10⁻³~100/s의 변형율속도 범위에서 얻은 결과를 나타내고 있다. 그림 3은 유한요소해석에 필요한 등온변태곡선을 계산한 결과를 나타낸 그림이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. (a) Continuous cooling transformation curve, (b) hardness and (c) corresponding microstructure of 1524 steel.

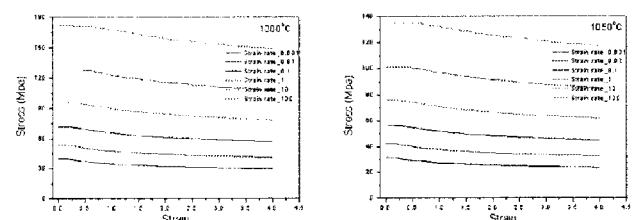


Fig. 2 Flow curves of 1524 steel at the elevated temperature with variation of strain rate.

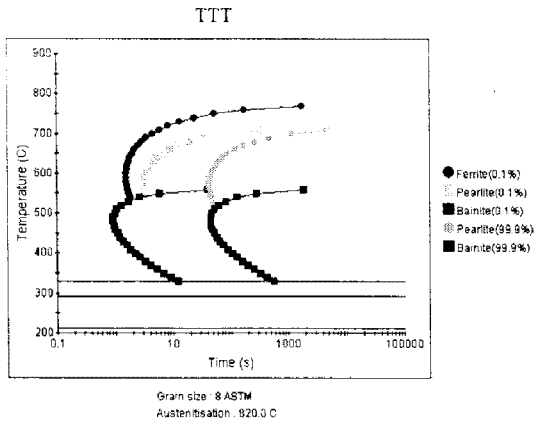


Fig. 3 Isothermal transformation curve of 1524 steel using JMATpro.

3.2 담금질 공정의 유한요소해석

그림 4 는 본 연구에 사용한 모델을 초기 빌렛 온도 1050℃로 설정하고 3 공정으로 구성된 열간단조공정을 해석할 결과를 나타내고 있다. 최종 단조 후 단조품의 온도분포는 부위별 두께 편차 등의 원인으로 인해 차이를 보이며 높은 영역은 1100℃에서 낮은 구역은 700℃의 온도를 나타내고 있다. 대부분의 영역은 1000 ± 70℃의 온도 분포를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

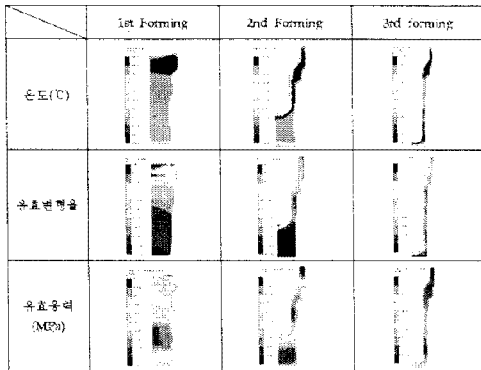


Fig. 4 Hot forging behavior of 1524 steel.

그림 5 는 그림 4 의 열간 단조후 대기중에서 냉각을 가정한 후 일정한 열전달 계수를 설정하였을 때 시간의 변화에 따른 부위별 온도 변화를 예측한 그림으로 시간에 따라 부위별 온도 편차가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 부위별 온도편차는 최종적으로 단조품 부위별 물성차이를 발생시키는 원인으로 작용하기 때문에 부위별 균일 냉각의 방안을 고안할 필요가 있다.

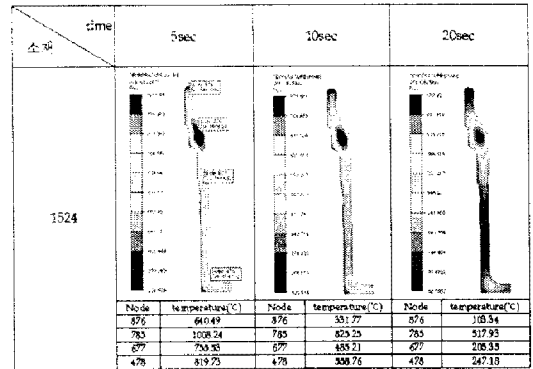


Fig. 5 Cooling behavior of 1524 steel after hot forging.

열처리시 냉각속도에 따라 마르텐사이트 변태량이 달라진다. 따라서 그림 4 에 나타낸 단조품과 같이 중공형상을 가진 단조품은 냉각속도에 따라 부위별로 다른 냉각속도를 가질 수 있는 가능성이 높다. 본 연구에서는 그림 6 에 나타낸 것과 같이 3 가지 형상을 대상으로 열처리 해석 및 실험을 수행하였다.

그림 7 은 1524 강재의 퀴칭시 부위별 냉각특성 및 냉각 후 상분율을 나타내는 그림으로 두께가 두꺼운 조건에서는 표면에서만 마르텐사이트 변태가 진행되며 내부에는 1524 의 경우 30%에 이르는 페라이트가 형성되는 것을 확인할 수가 있었다. 반면 두께가 얇은 3 번 시편을 제외하고 마르텐사이트와 베이나이트가 85%이상 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

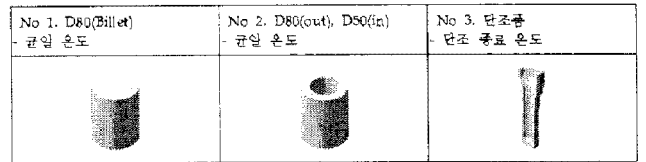
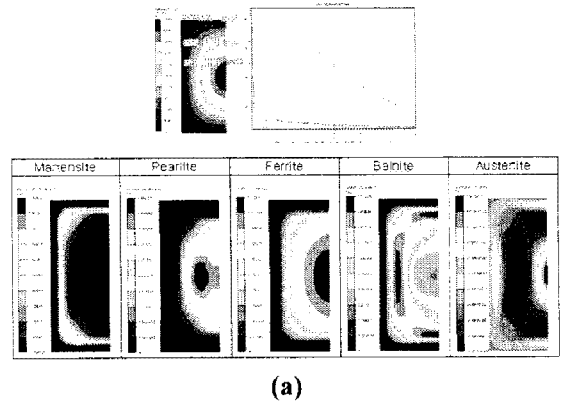
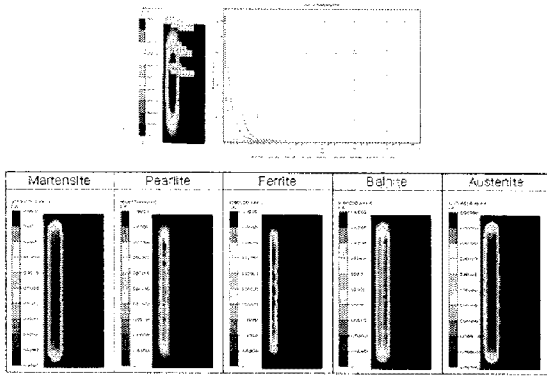


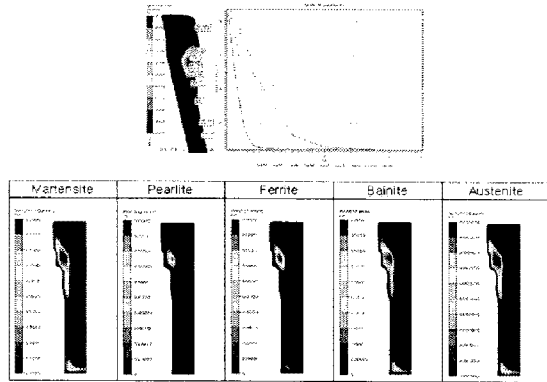
Fig. 6 Quenching model used in this study.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Quenching behavior of different geometry models.

3.3 열처리 후 물성

그림 8 은 퀘칭 후 템퍼링 처리를 단조품의 대표적인 미세조직을 나타내고 있다. 1524 는 탄소량이 0.22wt.%로 낮기 때문에 페라이트 분율이 높은 조직을 보여주고 있으나 전반적으로는 tempered martensite 조직을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 퀘칭시 부위별 냉각속도 차이에 따른 미세조직의 분율이 다르게 형성되며 경도측정을 통해 부위별 편차를 측정된 결과를 그림 9 에 나타낸 바와 같이 비교적 균일한 경도를 보여주고 있다.

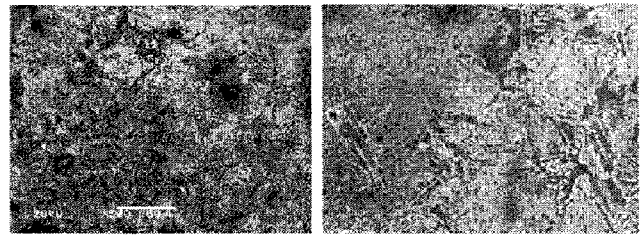


Fig. 8 Quenching behavior of different geometry models.

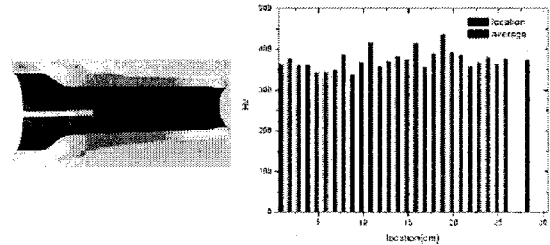


Fig. 9 Hardness distribution after quenching and tempering .

4. 결론

본 연구를 통해 저탄소강 및 합금강의 열간단조시 열처리 가열을 제거할 수 있는 공정의 개발 가능성을 평가하였다. 이를 위하여 1524 강재를 대상으로 열처리 및 소성가공 특성을 조사하였다. 이상의 기초 자료를 바탕으로 열처리 해석을 수행하였으며 간이 장비를 적용하여 실제 시편을 제조하였다. 이상의 과정을 통하여 직접 냉각형 단조 공정의 설계가 가능하였으며 실제 열간단조 환경의 공정 변수 제어를 조절할 경우 양산에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지역산업공통기술사업의 연구비 지원으로 수행된 과제 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.