

스프링백 저감을 위한 초고강도강의 국부적 연화 열처리에 따른 미세조직과 기계적 특성 변화에 관한 연구

박상언¹ · 박병학¹ · 오명환¹ · 강범수² · 구태완^{3, #}

Effect of Local Softening for Spring-back Reduction of Ultra High Strength Steel on Microstructure and Mechanical Properties

S. E. Park, B. H. Park, M. H. Oh, B. S. Kang, T. W. Ku

(Received May 20, 2021 / Revised May 25, 2021 / Accepted May 31, 2021)

Abstract

In order to improve excessive spring-back behavior as a result of the roll forming process using ultra high strength steel (UHSS) sheet, local softening in region of a partial area expected to be deformed on an initial blank is considered in this study. With SPFC1470 UHSS sheet with initial blank thickness of 1.20mm, the local softening is performed with the following conditions: temperatures of 500°C, 550°C, 600°C and 650°C, and holding time of 20s, 40s, 80s and 160s. Mechanical properties, such as yield stress and tensile strength, as well as elongation, are evaluated through uniaxial tensile tests, while the microstructural characteristics as a result of local softening are also investigated using the heat-treated specimens. As a result, it is shown that the spring-back behavior of the roll-formed prototype was reduced about by 78.9%, when the local softening at about 500°C was performed for 160s considering the practical manufacturing condition.

Keywords : Ultra High Strength Steel, Local Softening, Temperature, Holding Time, Tensile Property, Microstructure

1. 서 론

최근 자동차 산업분야에 있어서, 강화된 안전 규제와 CO₂ 배출 기준을 충족함과 동시에 자동차 연비를 개선을 위해 차체의 경량화와 더불어 고강도화 등이 필수적으로 요구되고 있으며, 이러한 목적을 충족시키고 달성하기 위한 방안으로 초고강도강 (ultra high strength steel, UHSS) 판재의 적용 시도가 증가하고 있다. 인장강도(tensile strength)가 약 1.5GPa 수준에 이르는 초고강도강 판재는 강재 자체의 고강도화로 인해 성형시 가공이 어렵고 까다롭다는 단점이 존재함에도 불구하고[1], 자동차용 안전 부재

(safety member) 부품 생산에 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

초고강도강은 낮은 연신율(elongation)과 높은 항복강도 및 인장강도 등의 기계적 특성으로 인해, 기존의 프레스 성형 공정(press forming process) 적용을 위해서는 고온에서 성형하는 핫스탬핑(hot stamping) 공정이 주로 활용되고 있다[2]. 그러나, 핫스탬핑 성형은 초기 판재는 약 900°C 이상으로 가열해야 하며, 성형시에 급랭(quenching)도 수반되어야 하는 제한이 존재하는 것으로 알려져 있다. 이와는 별도로, 초고강도강을 상온(냉간) 조건에서 성형하기 위한 방안으로 점진적 성형(progressive forming) 기법중의 하나인 롤 포밍(roll forming) 공정을 적용하기 위한 연구도 국내·외에서 활발히 진행중에 있다[3~7]. 초고강도강의 롤 포밍 공정 적용시에 성형 크랙(crack)은 발생하지 않지만, 소재 자체의 높은 항복강도로 인

1. (주)성우하이텍 R&D 본부 선행기술팀, 책임연구원
2. 부산대학교 항공우주공학과, 교수
3. 부산대학교 설계기반미래성형기술센터, 교수
Corresponding Author : ERC/ITAF, Pusan National University,
E-mail: longtw@pusan.ac.kr
ORCID : 0000-0002-0434-5650

해 스프링백(spring-back)이 과도하게 발생하는 문제가 보고되기도 하였다[8].

또한, 롤 포밍 공정에서 스프링백에 영향을 미치는 공정변수에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다[9]. 초고강도강 판재의 롤 포밍 공정에서 부가 공정 적용을 통해 스프링백 최소화를 유도하기 위한 연구도 활발히 진행중에 있으며, 이러한 부가 공정으로는 주로 성형용 초기 판재를 가열하여 판재의 기계적 성질을 변화시킴으로써 스프링백의 최소화를 유도하는 것이다. 특히, 핫스탬핑용 소재인 보론강을 열처리 전에 롤 포밍 공정으로 중간성형품(intermediate blank)을 성형한 후, 최종 성형 단계에서 고주파 코일을 이용하여 약 900°C로 가열한 후에 급랭시켜 강도(stiffness)를 확보하고 스프링백을 최소화하는 사례가 보고되기도 하였다[10].

앞서 언급한 스프링백 저감과 개선을 위한 공정들은 롤 포밍 공정에서의 성형 롤 사이에 국부 강화장치를 추가적으로 적용해야 하는 단점이 있으며, 롤 급형의 고온 접촉으로 인한 급형 수명 단축 등이 유발되는 것으로 알려져 있다. 최근에는 롤 포밍 성형 전에 초고강도강 판재의 성형부에만 국부적으로 연화(softening) 열처리하여 성형 공정에 적용하는 연구가 활발히 진행중에 있다. 그러나, 초고강도강 판재의 연화에 따른 기계적 성질 변화에 대한 연구는 많이 보고된 바 있지만, 연화 열처리 온도와 시간에 따른 기계적 성질과 미세조직과의 상관 관계에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 인장강도가 약 1.5GPa 급 초고강도강 판재인 SPFC1470에 대한 연화 열처리 조건(온도 및 시간)에 따른 기계적 성질과 미세조직적 변화를 분석하고 평가하고자 하였다. SPFC1470 초고강도강 판재(초기 두께 약 1.20mm)에 대한 연화 열처리 온도를 500°C, 550°C, 600°C 그리고 650°C 등 4 가지 조건과 열처리 유지시간(holding time)을 20 초, 40 초, 80 초 및 160 초 조건을 기준으로 실험적 연구를 수행하였다.

2. 연화 열처리 및 시험 조건

Table 1 은 본 연구에서 사용한 약 1.47GPa 수준의 인장강도를 가지는 초고강도강(SPFC1470)의 화학조성을 나타낸 것이다. 초기 두께가 약 1.20mm 인 판재에 대한 기계적 특성을 평가하기 위해 ASTM E8/E8M 표준 시편 규격 및 시험 방법에 따라 연화

열처리 전·후의 시험 시편을 준비하였다. Table 2 는 연화 열처리 전 SPFC1470 시험 시편에 대한 기계적 물성을 요약한 것으로, 약 1,200MPa 수준의 항복강도와 약 1,470MPa 수준의 인장강도를 가지는 것으로 평가되었으며, 연신율은 약 7% 수준인 것으로 조사되었다.

Fig. 1 은 모재의 미세조직을 나타낸 것으로, 가지상(lath)의 마르텐사이트(martensite, M)와 입내에 미세한 탄화물이 존재하는 베이나이트(bainite, B) 등의 2상 미세조직(microstructure)으로 구성되어 있음을 알 수 있다. Fig. 2 는 Thermo-Calc™ 소프트웨어를 이용하여 작성한 모재의 평형상태도를 나타낸 것으로, 700°C~800°C 영역은 오스테나이트(austenite, A)와 페라이트(ferrite, F) 조직이 공존하는 구간으로 본 연구의 목적인 연화(softening) 열처리 영역이 아님을 알 수 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 약 690°C인 A_{c1} 이하의 온도 범위(500°C~650°C)에서 열처리 온도와 유지시간 변화에 따른 기계적 성질과 미세조직과의 상관 관계를 검토하였다. SPFC1470 초고강도강 판재의 열처리는 전기가열로를 이용하여 시험 시편 전 영역에 걸쳐 가열하였으며, 열전대(thermo-couple)를 시편에 부착하여 온도를 직접 측정하였다.

Fig. 3 은 각 연화 열처리 공정에서의 가열 시간에 따른 SPFC1470 시험 시편에 대한 온도 변화를 나타낸 것으로, 각 열처리 온도마다 승온 속도가 다를 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 전기가열로 내부에서 각 시험편이 목표 온도에 도달하는 시간은 110 초에서 120 초로 측정되었다. 연화 열처리 유지시간은 다양

Table 1 Chemical composition of SPFC1470 UHSS (unit : wt%)

C	Si	Mn	Cr	Fe
0.23	0.24	1.19	0.18	Bal.

Table 2 Summary of mechanical properties of SPFC1470 UHSS with thickness of 1.20mm

Property	Unit	Value
Young's Modulus	GPa	210
Yield Strength	MPa	1,200
Ultimate Strength	MPa	1,470
Elongation	%	7.0
Poisson's Ratio		0.3

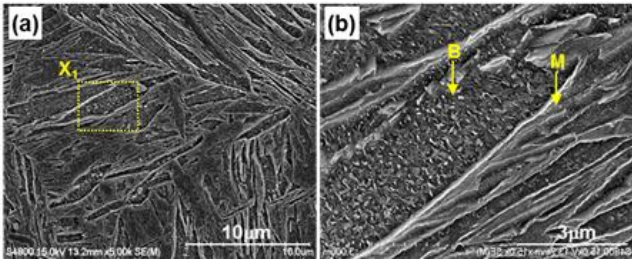


Fig. 1 SEM micrograph of SPFC1470 UHSS: (a) base material, (b) enlarged image at region denoted as X₁ in (a)

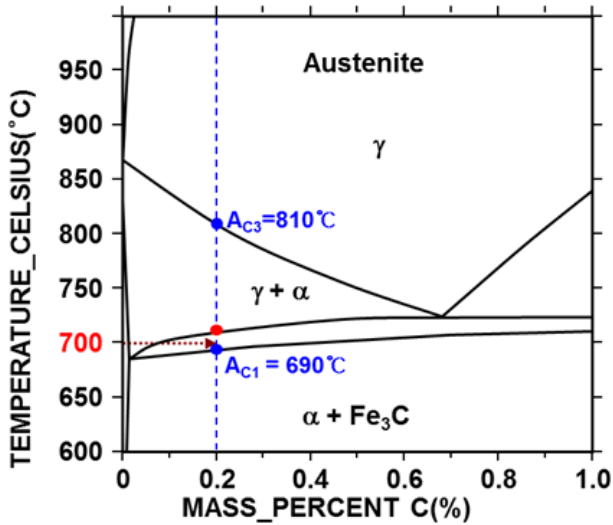


Fig. 2 Phase diagram derived from Thermo-Calc™ for SPFC1470 UHSS

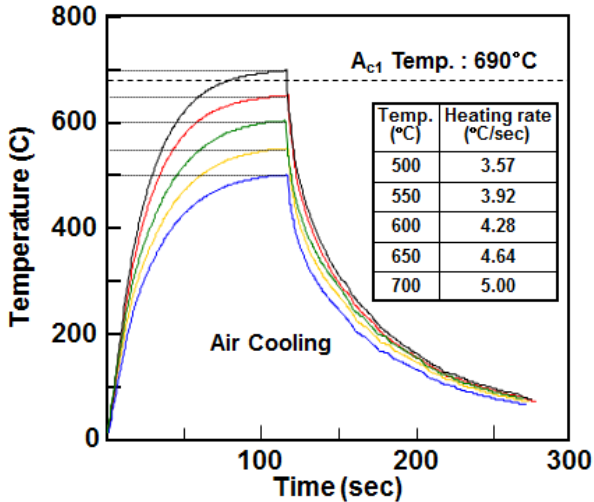


Fig. 3 Time-temperature curves of SPFC1470 UHSS specimens

한 생산현장 조건을 고려하기 위해 20초, 40초, 80초 및 160초를 적용하였으며, 열처리된 시험 시편을 공랭(air cooling)하여 시험에 적용하였다.

SPFC1470 초고강도강 관재의 연화 열처리에 의한 미세조직적 변화를 조사하기 위해 열처리된 시편을 연마한 후에 5% 나이탈(nital) 용액으로 에칭(etching)하였으며, 광학현미경과 SEM 장비를 사용하여 관찰하였다. 각 열처리된 시편의 경도 측정은 마이크로 비커스 경도기를 이용하였으며, 하중 0.5Kgf 및 유지시간 15 초의 조건으로 소재 단면의 중심부에서 측정하였다.

3. 연화 열처리 실험 결과

3.1 기계적 특성 변화

Fig. 4는 SPFC1470 초고강도강 모재에 대한 연화 열처리 온도 및 유지시간 변화에 따른 항복강도, 인장강도 및 연신율을 각각 나타낸 것이다. 연화 열처리 온도와 유지시간이 증가할수록 항복강도(Fig. 4(a) 참조)와 인장강도(Fig. 4(b) 참조)는 전반적으로 감소함을 알 수 있었다. 연화 열처리 온도가 650°C 및 유지시간이 160초일 때, 항복강도와 인장강도는 가장 낮게 조사되었다. 또한, 항복강도와 인장강도는 연화 열처리 온도와 유지시간이 증가할수록 강도 감소율(strength reduction ratio)은 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고, 연신율 측면에서 연화 열처리 및 유지시간의 영향을 살펴보면(Fig. 4(c)), 연신율은 열처리 온도와 유지시간이 증가할수록 다소 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나, 열처리 온도가 550°C, 600°C 및 650°C 조건일 경우에는 유지시간이 증가함에 따라 연신율이 소폭 증가함을 보이지만, 그 차이는 크지 않음을 확인할 수 있었다. 이와는 달리, 열처리 온도가 500°C인 경우에 있어서 유지시간이 20초에서 80초까지는 연신율이 약 6% 증가하는 것으로 나타났으나, 이후 유지시간이 길어질수록 일정한 연신율을 보임을 알 수 있었다. 최대 연신율은 650°C의 연화 열처리 온도 및 160초의 유지시간이 적용되었을 때, 약 12% 증가하는 것으로 조사되었다.

연화 열처리 온도와 유지시간 변화에 따라 항복강도와 인장강도가 달라지는 이유로는 열처리 온도 변화에 따라 미세조직적으로 마르텐사이트 조직의 연화(tempering) 정도에 차이가 있기 때문인 것으로

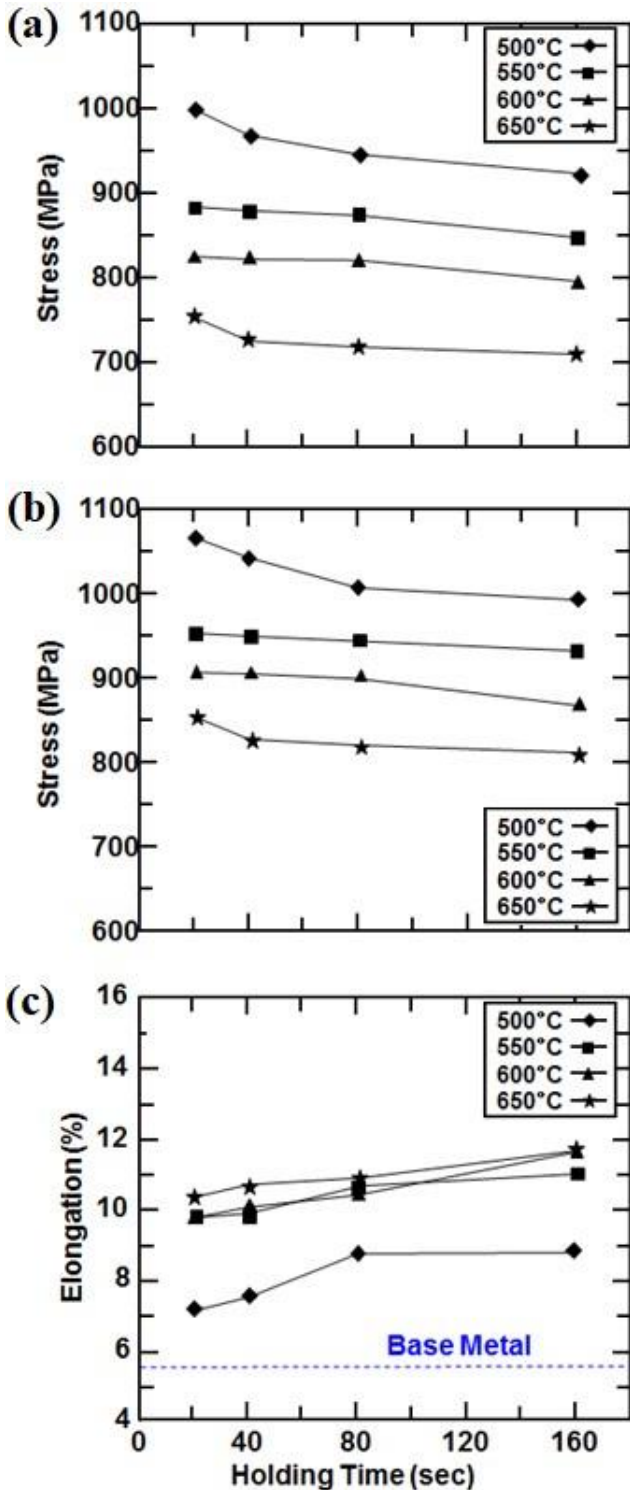


Fig. 4 Experimental results on mechanical property of SPFC1470 UHSS sheet with thickness of 1.20mm according to softening temperature and holding time: (a) yield strength, (b) tensile strength, (c) elongation

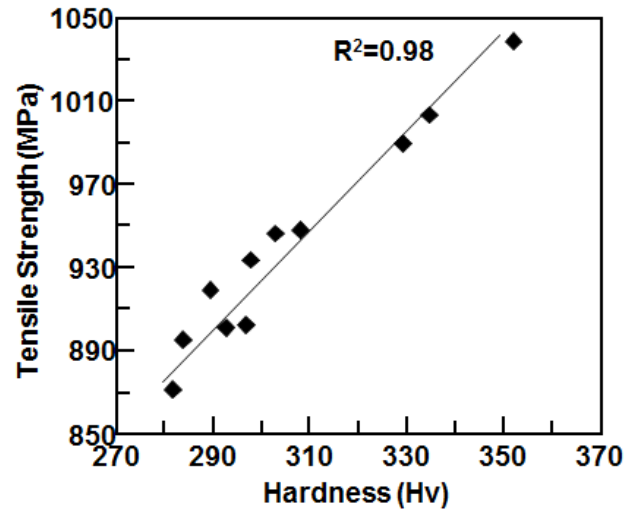


Fig. 5 Relationship between tensile (ultimate) strength and hardness of heat treated SPFC1470 specimen

파악되었다. 반면, 연신율은 열처리 온도가 증가함에 따라 다소 증가하지만, 그 증가율은 항복강도 및 인장강도와 달리 큰 차이가 발생하지 않는 것으로 나타났다. Fig. 5 는 열처리 온도와 유지시간에 따른 인장강도와 경도(hardness, Hv)와의 상관관계를 도시한 것이다. 인장강도가 증가함에 따라 경도가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 선형적인 증가관계를 보이는 것으로 조사되었다.

3.2 연화 열처리에 따른 미세조직 변화

앞서 언급한 바와 같이, 열처리 온도가 증가함에 따라 연신율이 증가하지만, 온도 증가에 따른 연신율 증가율은 항복강도 및 인장강도와는 달리 큰 차이가 없음을 확인하였다. 이는 연화된 마르텐사이트 조직 내부의 탄소 성분에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서, 열처리 온도와 유지시간에 따른 기계적 특성 변화의 원인을 파악하기 위해 미세조직 분석을 통한 기계적 성질과의 상관관계를 검토하고자 하였다.

Fig. 6 은 SPFC1470 초고강도강의 연화 열처리 온도와 유지시간 변화에 따른 광학현미경적 미세조직들을 나타낸 것으로, 가지상 조직(lath microstructure)들이 공통적으로 존재함을 확인할 수 있었고, 그 외부에 입계(grain boundary)가 관찰되었다. 그러나, 각 조건에서의 광학현미경 조직으로는 연화 열처리의 영향을 구체적으로 파악하기에는 다소 제한적이기

때문에 우선적으로 모재인 SPFC1470 의 A_{C1} (약 690°C) 이상의 온도인 700°C 조건에서 20 초의 유지시간으로 열처리한 시험 시편에 대해 미세조직을 SEM 장비를 활용하여 관찰하였으며, 이후 연화 열처리 온도가 500°C 및 650°C 인 시험 시편에 대한 미세조직을 추가적으로 관찰하였다.

Fig. 7 은 700°C에서 20 초의 유지시간으로 열처리한 SPFC1470 시험 시편의 광학현미경적 미세조직과 SEM 이미지를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)의 광학현미경 이미지를 통해 알 수 있듯이, A_{C1} 이하의 온도에서 연화 열처리된 시험 시편과 달리 다량의 검은색 상이 입계에 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 검은색 상의 정확한 상을 조사하기 위해 SEM 장비를 이용하여 관찰한 결과, Fig. 7(b)에서와 같이 검은색 상은 페라이트와 시멘타이트(cementite)의 층상구조인 퍼얼라이트(pearlite) 조직으로 구성되어 있는 것으로 조사되었다. 이러한 퍼얼라이트 조직이 입계에 편석되어 있으면 기계적 성질에 악영향을 미치기 때문에 A_{C1} 이상의 온도로 연화 열처리를 실시하게 되면 기계적 물성(연신율)이 현저히 감소할 것으로 판단되었다.

Fig. 8 은 SPFC1470 초고강도강 모재를 A_{C1} 이하의

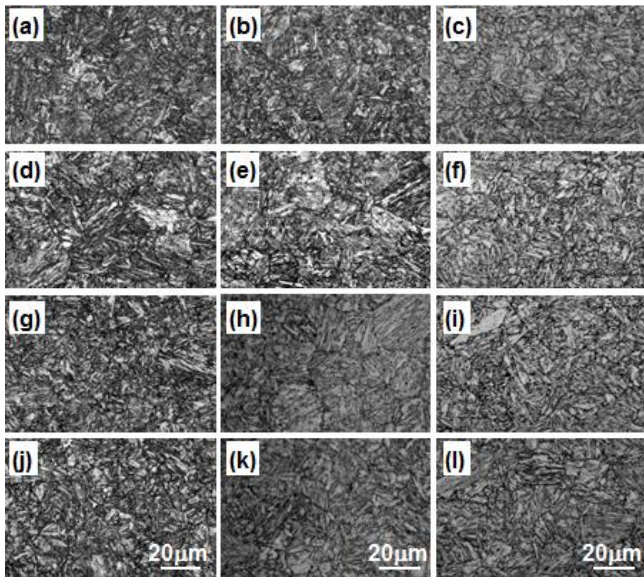


Fig. 6 Optical microstructure images by softening heat treatment: (a) 500°C-20s, (b) 550°C-20s, (c) 600°C-20s, (d) 500°C-40s, (e) 550°C-40s, (f) 600°C-40s, (g) 500°C-80s, (h) 550°C-80s, (i) 600°C-80s, (j) 500°C-160s, (k) 550°C-160s, (l) 600°C-160s

온도인 500°C 및 650°C에서 연화 열처리한 시험 시편의 광학현미경적 미세조직과 SEM 이미지를 나타낸 것이다. Fig. 8(a) 및 Fig. 8(b)에서와 같이, A_{C1} 이하의 온도인 500°C 및 650°C에서 연화 열처리된 시편의 경우 결정립(grain)이 열처리 전의 모재보다 다소 미세해진 것을 알 수 있다. 또한, SEM 장비를 이용하여 미세조직을 보다 세밀히 관찰한 결과, 결정립

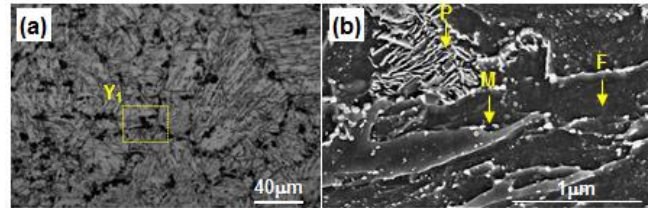


Fig. 7 Optical and SEM images of heat treated SPFC1470 microstructure at 700°C-20s: (a) optical image, (b) SEM image at region denoted as Y_1 in (a)

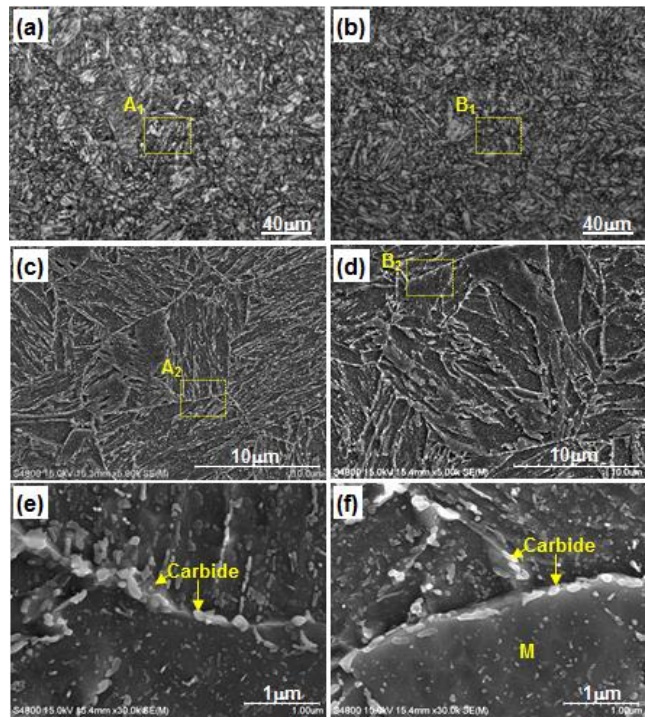


Fig. 8 Optical and SEM microstructures by softening heat treatment: (a) optical image for case of 500°C-20s condition, (b) optical image for case of 650°C-20s, (c) SEM image at region denoted as A_1 in (a), (d) SEM image at region denoted as B_1 in (b), (e) SEM image at region of A_2 in (c), (f) SEM image at region of B_2 in (d)

내부에 마르텐사이트와 베이나이트가 존재하는 것으로 나타났다. 마르텐사이트는 모재보다 가지상 형상이 많이 없어진 것을 확인할 수 있었다. 연화 열처리된 시험 시편의 단면에 나타나는 입계의 경우 구오스테나이트(prior austenite) 입계인 것으로 판단되며, 이러한 입계에 미세한 석출상이 존재함을 확인할 수 있었다. 이는 연화 열처리시 마르텐사이트에 과포화되어 있던 탄소가 구오스테나이트 입계로 확산되어 미세한 탄화물을 형성하는 것으로 판단되었다. Fig. 9는 모재에 대한 연화 열처리 조건에 따른 구오스테나이트 결정립의 크기를 나타낸 것으로, 모든 조건에서 결정립의 크기는 유사한 수준(약 12 μ m)임을 알 수 있었다.

이와 더불어, Fig. 10(a)는 A_{C1} 이하의 온도에서 연화 열처리한 경우의 구오스테나이트 입계에 존재하는 미세한 석출상이 관찰되는 이유를 도시한 것이고, Fig. 10(b)는 A_{C1} 이상의 온도에서 열처리한 경우의 구오스테나이트 입계에 페어라이트가 형성되는 이유를 묘사한 것이다. Fig. 10(a)에서와 같이, A_{C1} 이하의 온도로 열처리할 경우에는 탄소가 과포화되어 있는 불안정한 마르텐사이트가 열원에 의해 구오스테나이트 입계로의 탄소 이동을 통해 Fe_3M 상으로 석출된다. 즉, 구오스테나이트 입계에 존재하는 석출상으로 인해 강도(strength)는 유의미한 수준으로 감소하지만, 연신율은 강도 감소율만큼 증가하지 않는 원인인 것으로 판단되었다. 이와는 달리, A_{C1}

이상의 온도에서 열처리한 경우에는 구오스테나이트 입계에 페어라이트 조직이 형성되는 원인에 대한 분석 결과를 나타낸 것으로, A_{C1} 이상의 온도로 가열하게 되면 구오스테나이트 입계에 오스테나이트 조직이 형성되고, 이러한 오스테나이트 조직이 공냉(air cooling)시 냉각 속도가 느리기 때문에 페어라이트 조직으로 상변태가 발생하는 것으로 확인되었으며, 구오스테나이트 입내에서는 페어라이트 조직이 형성되는 것을 알 수 있었다.

3.3 국부 연화 열처리 적용

SPFC1470 초고강도강 판재(초기 두께 1.20mm)에 대한 국부 연화 열처리에 따른 스프링백 개선 효과를 확인하기 위해, 냉간 단단 롤 포밍 공정으로 성형되는 자동차용 범퍼 부재를 대상으로 실험적 연구를 수행하였으며, 최종 성형품으로써 요구되는 단면 형상을 Fig. 11에 간략하게 도시하였다. 초기 두께가 1.20mm 인 국부 연화 열처리된 SPFC1470 초고강도강 판재의 단단 롤 포밍 공정에 의한 자동차용

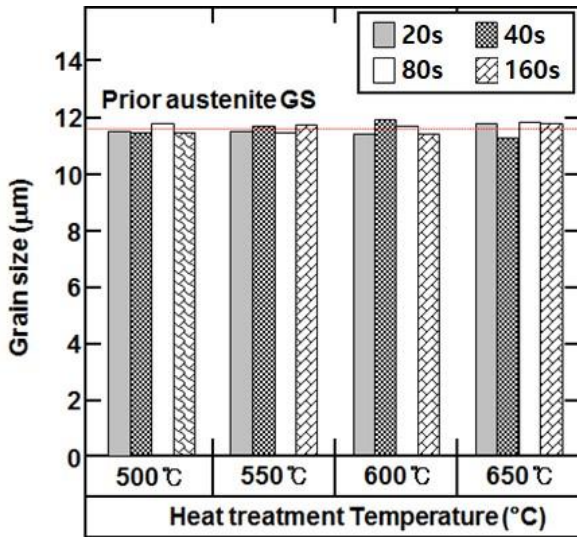


Fig. 9 Grain size of prior austenite by holding time and softening temperature of SPFC1470

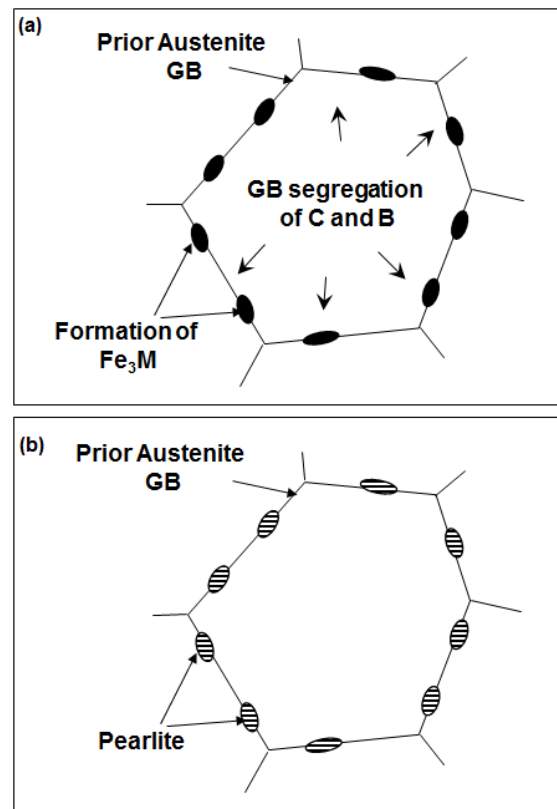


Fig. 10 Schematic views of microstructure formation: (a) under A_{C1} temperature, (b) over A_{C1} temperature

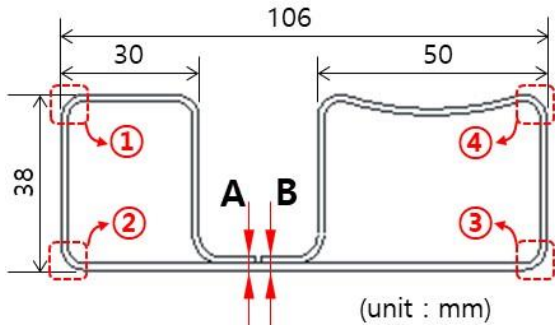


Fig. 11 Cross-sectional target profile of automotive bumper member using SPFC1470 UHSS sheet with initial thickness of 1.20mm (①, ②, ③, ④ : target sections of local softening)

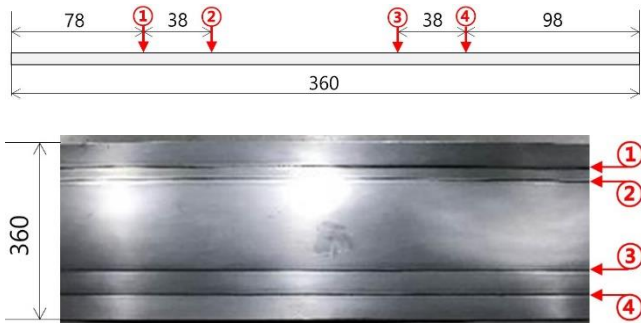


Fig. 12 Local softening sections and heat treated blank on SPFC1470 UHSS sheet (unit : mm)

범퍼 부재의 탄성회복 거동을 실험적으로 검토하기 위해, Fig. 12 에 제시된 초기 블랭크의 국소 부위(①, ②, ③, ④)에 플라즈마 열원을 이용한 연화 열처리를 고려하였으며, 가열부 반대쪽에 열전대를 접지하여 온도를 측정하였다.

앞서 언급한 국부 연화 열처리 온도(500°C, 550°C, 600°C, 650°C) 조건들에 있어서, 냉간 다단 롤 포밍 공정과 현장 조건을 고려하여, 500°C에서 160 초의 유지시간으로 국부 연화 열처리한 초기 블랭크를 대상으로 냉간 다단 롤 포밍 공정을 적용하였다. 그리고, 국부 연화 열처리 전과의 비교 이외에도 저온 열처리 조건(200°C 및 350°C, 유지시간 160 초)에 대한 실험적 연구도 병행하였다.

SPFC1470 초고강도강 판재의 국부 연화 열처리 전과 후에 대한 냉간 다단 롤 포밍 공정시 발생하는 탄성회복을 측정하기 위해, Fig. 11 의 중앙부에 표시된 바닥부를 기준 위치로 하여 탄성회복에 의한

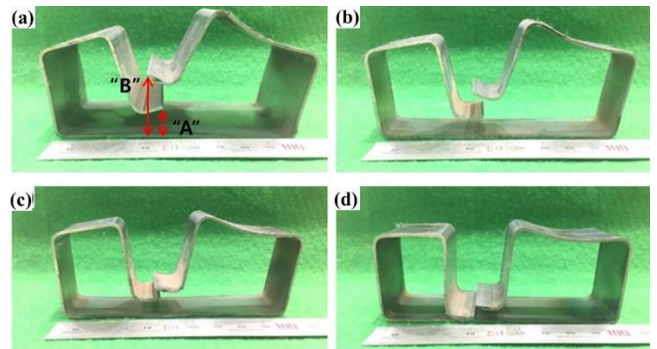


Fig. 13 Cross-sectional profiles of automotive bumper member obtained by cold roll forming process using SPFC1470 UHSS sheet: (a) for no-heat treated sheet, (b) for heat treated sheet at 200°C, (c) for heat treated sheet at 350°C, (d) for heat treated sheet at 500°C

Table 3 Experimental results on spring-back amount by cold roll-forming of local softened SPFC1470

(unit : mm)	"A"	"B"	
Original Sheet at 20°C	13.40	19.20	Fig. 13(a)
Heat Treated at 200°C	8.50	19.20	Fig. 13(b)
Heat Treated at 350°C	7.40	12.20	Fig. 13(c)
Local Softened at 500°C	0.50	5.50	Fig. 13(d)

높이(A 및 B)를 각각 측정하였다. 실험적 연구 결과로써, SPFC1470 초고강도강을 이용한 초기 블랭크의 국소 부위에 연화 열처리가 적용되지 않은 경우(Fig. 13(a)), 탄성회복된 높이는 약 13.40mm 및 19.20mm로 나타났다. 저온 열처리의 경우, 이들의 높이가 8.50mm 및 19.20mm (Fig. 13(b) 그리고 7.40mm 및 12.20mm (Fig. 13(c))로 각각 측정되었다. 마지막으로, 500°C 온도 및 160초의 유지시간으로 국부 연화 열처리된 경우(Fig. 13(d)), 각각의 높이가 0.50mm 및 5.50mm로 측정되었다. 따라서, 본 연구에서 제시한 SPFC1470 초고강도강 판재의 국부 연화 열처리를 통해 일정 수준 이상의 탄성회복 감소 효과를 유도할 수 있다는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 SPFC1470 초고강도강 판재의 다단 롤 포밍 공정 적용시 발생하는 스프링백을 감소시

키기 위한 방안으로 국부적 연화 열처리 공정을 고려하였다. 연화 열처리 온도와 유지시간에 따른 항복강도와 인장강도 및 연신율 측면에서 실험적 연구를 수행하였으며, 미세조직적 특성 변화도 분석하였다. 국부적으로 연화 열처리된 두께가 1.20mm 인 SPFC1470 판재를 이용하여 자동차용 범퍼 빔 성형을 위한 다단 롤 포밍 공정에 적용하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 연화 열처리 온도(500°C~650°C) 및 유지시간(20 초~160 초)이 증가할수록 SPFC1470 초고강도강의 항복강도와 인장강도는 감소함을 실험적으로 확인하였다.

(2) 연화 열처리 온도와 유지시간이 증가할수록 연신율은 다소 개선되는 것으로 조사되었으나, 열처리 온도가 550°C~650°C일 경우에는 유지시간 증가에 의한 개선 효과가 크지 않음을 알 수 있었다.

(3) 연화 열처리에 따른 미세조직적 변화를 관찰한 결과, A_{C1} 이상의 온도(700°C)에서는 페라이트와 시멘타이트의 층상조직인 퍼얼라이트 조직이 관찰되었으나, A_{C1} 이하의 온도(500°C 및 650°C)에서는 연화 열처리에 의해 마르텐사이트의 가지상 조직이 다소 없어짐과 동시에 구오스테나이트 입계에서 미세한 Fe_3M 석출물이 관찰되었다.

(4) 자동차용 범퍼 부재를 대상으로 500°C에서 연화 열처리된 SPFC1470 초고강도강 판재를 이용하여 다단 롤 포밍 공정을 실험적으로 수행한 결과, 탄성회복량은 국부 연화 열처리를 통해 개선될 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

[1] T. Mega, K. Hasegawa, H. Kawabe, 2004, Ultra High-Strength Steel Sheets for Bodies, Reinforcement Parts, and Seat Frame Parts of Automobile, JFE Tech. Report, No. 4, pp. 38~43.

[2] H. Karbasian, A. E. Tekkaya, 2010, A Review on Hot Stamping, J. Mater. Process. Technol., Vol. 210, No. 15, pp. 2103~2118.

<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.019>

[3] Y. R. Choi, J. G. Shin, 2002, Deformation Characteristics of Compound Curved Plate Bending by Asymmetric Rollers, J. Ocean Eng. Technol., Vol. 16, No. 2, pp.38~43.

[4] S. M. Hong, N. S. Kim, 2001, Study on Scratch Defect of Roll Forming Process, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng., Vol. 25, No. 8, pp.1213~1219.

[5] T. W. Cha, J. H. Kim, G. H. Kim, B. M. Kim, 2016, Design of Flower Pattern in Roll Forming Process for Ultra High Strength Bumper Beam, Trans. Mater. Process., Vol. 25, No. 5, pp. 319~324.
<http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2016.25.5.319>

[6] D. K. Kim, S. W. Han, H. J. Jeon, S. H. Cheon, Y. H. Moon, 2014, The Study of Manufacturing Technology for a Sill Side by Roll Forming, Trans. Mater. Process., Vol. 23, No. 6, pp. 376~379.
<http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2014.23.6.376>

[7] W. J. Lee, J. S. Yang, K. W. Choi, Y. H. Park, B. G. Park, I. M. Park, Y. H. Park, 2008, A Study on the Thermal Fatigue Properties of Mg/Mg-Al₁₈B₄O₃₃ Functionally Graded Material by Thermal Cycling Test and Finite element Method, J. Kor. Inst. Met. Mater., Vol. 46, No. 8, pp.538~544.

[8] D. W. Jung, D. H. Kim, B. C. Kim, 2012, A Study on Development of Automotive Panel of Bumper Reinforcement with High Strength Steel using Roll Forming Process, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vo. 29, No. 8, pp.840~844.
<https://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2012.29.8.840>

[9] D. H. Kim, Y. Zhang, D. W. Jung, 2016, A Study on Spring-back Effect according to the Number of Roll Passes in the Roll Forming Process, J. Kor. Soc. Manuf. Proc. Eng., Vol. 15, No. 1, pp.42~49.
<https://doi.org/10.14775/ksmpe.2016.15.1.042>

[10] K. Y. Kim, L. J. Choy, H. I. Shin, J. H. Cho, C. H. Lee, 2017, Characteristics of Mechanical Properties and Micro Structure according to High-Frequency Induction Heating Conditions in Roll Forming Process of a Sill Side Part, J. Kor. Soc. Manuf. Proc. Eng., Vol. 16, No. 6, pp.87~94.
<https://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.6.087>