



**ALAŞIMSIZ DÜŞÜK KARBONLU DEMİR YOLU
DÖVME ÇELİĞİNİN DAYANIMINA
HIZLANDIRILMIŞ SU VERME
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Halime KİRTİŞ

**Tez Danışmanları
Doç. Dr. Yunus TÜREN
Dr. Öğretim Üyesi Levent ELEN**

**ALAŞIMSIZ DÜŞÜK KARBONLU DEMİR YOLU DÖVME ÇELİĞİNİN
DAYANIMINA HIZLANDIRILMIŞ SU VERME PARAMETRELERİNİN
ETKİSİ**

Halime KİRTİŞ

Tez Danışmanları

Doç. Dr. Yunus TÜREN

Dr. Öğretim Üyesi Levent ELEN

T.C

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

MAYIS 2023

Halime KİRTİŞ tarafından hazırlanan “ALAŞIMSIZ DÜŞÜK KARBONLU DEMİR YOLU ÇELİĞİNİN DAYANIMINA HIZLANDIRILMIŞ SU VERME PARAMETRELERİNİN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yunus TÜREN
Tez Danışmanı, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğretim Üyesi Levent ELEN
2. Tez Danışman, Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 08/05/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)	ONLINE
Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Yunus TÜREN (NEÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesine onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.

Halime KİRTİŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALAŞIMSIZ DÜŞÜK KARBONLU DEMİR YOLU DÖVME ÇELİĞİNİN DAYANIMINA HIZLANDIRILMIŞ SU VERME PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Halime KİRTİŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Doç. Dr. Yunus TÜREN

Dr. Öğretim Üyesi Levent ELEN

Mayıs 2023, 71 sayfa

Bu çalışmada, S355J2 kalite “Alt Oturma” isimli parçanın dövülerek üretiminden sonra “Hızlandırılmış Soğutma ve Kendi Kendini Temperleme (HS-KT)” ısıl işlemi sonrasında mekanik ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. HS-KT ısıl işlemi, hava+su karışımını pülverize şekilde parça yüzeyine püskürten özel tasarlanmış ve imal edilmiş sistemle gerçekleştirilmiştir. Alt Oturma parçasına HS-KT ısıl işlemi 4, 8 ve 12 bar hava basıncında, 10, 20 ve 30 saniye soğutma süresinde uygulanmıştır. En yüksek soğuma hızı, Alt Oturma parçasının tepe bölgesinde soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat, hava basıncı 4 bar ve soğutma süresi 10 saniye olduğu HS-KT işlemi ile $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ olarak elde edilmiştir. En düşük soğuma hızı ise, parçanın kulak bölgesinde $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ olarak tespit edilmiştir. Isıl işlemsiz malzemelerin mikroyapısı Ferrit+Perlit yapıundayken,

soğuma hızına bağlı olarak yapının asiküler ferrit ve/veya poligonal ferrite sonrasında üst beynit ve/veya sorbit yapısına daha sonra ise alt beynit ve/veya martenzit fazı oluştuğu gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde ise, Alt Oturma parçasının tepe bölgesinde $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ soğuma hızında parçanın kenar bölgesinde 371 HB iken kulak bölgesinde 180 HB olduğu, $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ soğuma hızında ise kenar bölgesindeki sertlik değeri 227 HB iken kulak bölgesinde 213 HB olduğu tespit edilmiştir. En yüksek $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ soğuma hızına maruz kalan parçanın çekme dayanımı $772,6 \text{ N/mm}^2$, akma dayanımı $618,5 \text{ N/mm}^2$ ölçülürken, en düşük $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ soğuma hızında ise çekme dayanımı $776,73 \text{ N/mm}^2$, akma dayanımı ise 603 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Çentik darbe dayanımı en yüksek $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ soğuma hızına maruz kalan parçada oda sıcaklığında $152,36 \text{ J}$, -20°C 'de $120,86 \text{ J}$ ölçülürken, en düşük $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ soğuma hızında ise oda sıcaklığında $118,84 \text{ J}$, -20°C 'de $131,88 \text{ J}$ olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yapı çelikleri, dövme, hızlandırılmış soğutma, kendi kendini temperleme, mekanik özellikler.

Bilim Kodu 91517

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF ACCELERATED QUENCHING PARAMETERS ON THE STRENGTH OF NON ALLOY LOW CARBON RAILWAY FORGED STEEL

Halime KİRTİŞ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Material Engineering

Thesis Advisors:

Assoc. Prof. Dr. Yunus TÜREN

Assistant Professor Levent ELEN

May 2023, 71 pages

In this study, changes in the mechanical and microstructural properties of the "Lower Side Bearer" component, which is produced by forging the S355J2 grade, after the "Accelerated Cooling and Self-Tempering (AC-ST)" heat treatment are investigated. The AC-ST heat treatment was performed using a specially designed and manufactured system that sprays a mixture of air and water in pulverized form onto the surface of the component. The AC-ST heat treatment was applied to the Lower Side Bearer component at 4, 8, and 12 bar air pressure and cooling times of 10, 20, and 30 seconds. The highest cooling rate of 76.31°C/s was obtained with the AC-ST process, where the cooling plate and the material were separated by a distance of 1 layer at the top of the Lower Side Bearer component, with an air pressure of 4 bar and a cooling time of 10 seconds. The lowest cooling rate was determined to be 2.64°C/s in the ear region of the component. While the microstructure of the untreated materials had a Ferrite+Pearlite structure, depending on the cooling rate, the structure was

observed to evolve into acicular ferrite and/or polygonal ferrite, followed by upper bainite and/or sorbite structure, and later into lower bainite and/or martensite phase. When examining the hardness values, it was found that at a cooling rate of 76.31°C/s , the hardness value at the edge of the Lower Side Bearer component was 371 HB, while it was 180 HB in the ear region. At a cooling rate of 2.64°C/s , the hardness value at the edge was found to be 227 HB, while it was 213 HB in the ear region. The tensile strength of the component exposed to the highest cooling rate of 76.31°C/s was measured as 772.6 N/mm^2 , and the yield strength was measured as 618.5 N/mm^2 , while at the lowest cooling rate of 2.64°C/s , the tensile strength was found to be 776.73 N/mm^2 and the yield strength was determined as 603 N/mm^2 . The notch impact strength was measured as 152.36 J at room temperature and 120.86 J at -20°C in the component exposed to the highest cooling rate of 76.31°C/s , while at the lowest cooling rate of 2.64°C/s , it was determined as 118.84 J at room temperature and 131.88 J at -20°C .

Key words: Structural steels, forging, accelerated cooling, self-tempering, mechanical properties.

Science Code: 91517

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması, planlanması ve yürütülmesi esnasında bilgi ve tecrübelerinden fazlasıyla faydalandığım, ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirmeleri ile çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, danışmanım ve çok değerli hocam sayın Doç. Dr. Yunus TÜREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yönlendirmeleri ile tez çalışmamın doğru ve anlaşılabilir olmasına yardımcı olan değerli hocalarım Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya ve Dr. Öğretim Üyesi Levent ELEN'e sevgi saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam ile ilgili her konuda ileri görüşlü düşünce yapısı ile desteklerini esirgemeyen, FMC Hidrolik Sistemleri Genel Müdür Yardımcısı Merve AYDIN ÖZGE'ye, deneysel tüm çalışmalarım, numunelerin hazırlanması aşamalarında destek olan FMC ailesine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca hiçbir yardımı esirgemediğim yanımda olan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğiyle sürekli yanımda olan, çalışmalarım, yardımlarını esirgemeyen, anlayışı ile hayatımı kolaylaştıran eşim Seyit Mehmet KİRTİŞ'e ve annelik duygusunu bana tattırarak varlığı ile en büyük manevi desteği veren kızım Minel Hafsa KİRTİŞ'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tez çalışmasını KBÜBAP-21-YL-046 proje numarası ile destek olan Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KABUL	iv
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ÇELİKLERE UYGULANAN PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ VE ISIL İŞLEMLER.....	3
2.1 ÇELİK ÜRETİMİ TARİHÇESİ VE ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ.....	3
2.1.1. Haddeleme	4
2.1.2. Ekstrüzyon.....	5
2.1.3. Tel Çekme.....	7
2.1.4. Derin Çekme.....	7
2.1.5. Gererek Şekillendirme	8
2.1.6. Dövme	8
2.2. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	13
2.2.1. Tavlama	15
2.2.2. Sertleştirme	15
2.2.3. Menevişleme.....	15
2.3. YAPI ÇELİKLERİ.....	16
2.4. HS-KT VE BENZER UYGULAMALAR.....	18

BÖLÜM 3	21
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
3.1. ANA MALZEME.....	21
3.2. MALZEME HAZIRLAMA	22
3.3. HS-KT ISIL İŞLEMİNİN TASARIM VE İMALAT PARAMETRELERİ ..	22
3.4. HS-KT ISIL İŞLEMİNİN UYGULAMA ADIMLARI	26
3.5. ÇEKME TESTİ.....	28
3.6. DARBE ÇENTİK TESTİ.....	29
3.7. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU	31
3.7.1. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	31
3.7.2. SEM İncelemeleri	32
3.8. SERTLİK ÖLÇÜMÜ	32
BÖLÜM 4	34
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. SOĞUMA HIZI.....	34
4.2. MİKROYAPI	41
4.3. SEM GÖRÜNTÜLERİ	49
4.4. SERTLİK.....	54
4.6. DARBE ÇENTİK.....	57
4.6. ÇEKME TESTİ	60
BÖLÜM 5	63
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Haddeleme işleminin şematik gösterimi	5
Şekil 2. 2. Ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi	6
Şekil 2. 3. Tel çekme işleminin şematik gösterimi	7
Şekil 2. 4. Derin çekme işleminin şematik gösterimi	8
Şekil 2. 5. Gererek şekillendirme işleminin şematik gösterimi	8
Şekil 2. 6. Demir karbon denge diyagramı	10
Şekil 2. 7. Alaşımsız çeliklere uygulanan normalizasyon, yumuşatma, küreselleştirme ve sertleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları gösterilmektedir	14
Şekil 2. 8. Tavlama ısı işleminin şematik gösterimi	15
Şekil 3. 1. Alt oturma parçasının a) teknik resmi ve b) dövüldükten sonraki hali.....	21
Şekil 3. 2. Termokulpların yerleştirilmesi için açılan deliklerin pozisyonları.	22
Şekil 3. 3. Tasarımı yapılan soğutma plakasındaki nozulların gösterimi.	23
Şekil 3. 4. HS-KT sistemi ve tasarımı.....	23
Şekil 3. 5. Nozul sisteminde ki basınçlı hava+su karışımının a) şematik ve b) gerçek görünümü.....	24
Şekil 3. 6. Nozul sisteminin etki ettiği alanın mesafeye göre değişiminin a) yandan ve b) önden gösterimi.....	24
Şekil 3. 7. HS-KT ısı işlem sisteminde kullanılan kompresör.....	25
Şekil 3. 8. HS-KT ısı işlem sistemi.....	25
Şekil 3. 9. Termokulpları takılmış olan Alt Oturma parçası.....	26
Şekil 3. 10. ADAM sistemi.....	26
Şekil 3. 11. Kül fırını.....	27
Şekil 3. 12. Çekme testi için numune alınan kısımların gösterimi.....	28
Şekil 3. 13. Çekme testi numunelerinin işleme ölçüleri.....	29
Şekil 3. 14. Çekme testi cihazı.....	29
Şekil 3. 15. Darbe çentik testi için numune alınan kısımların gösterimi.	30
Şekil 3. 16. Darbe çentik testi numunelerinin işleme ölçüleri.	30
Şekil 3. 17. Darbe çentik testi cihazı.....	30

Şekil 3. 18. Mikroyapı çalışmaları için numune alınan kısımların gösterimi.	31
Şekil 3. 19. Optik mikroskop cihazı.....	31
Şekil 3. 20. SEM cihazı.....	32
Şekil 3. 21. Sertlik ölçümü için numune alınan kısımların gösterimi.....	33
Şekil 3. 22. Sertlik cihazı.	33
Şekil 4. 1. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 12 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.	35
Şekil 4. 2. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 4 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.	36
Şekil 4. 3. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 8 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.	37
Şekil 4. 4. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 4 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.	38
Şekil 4. 5. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısı işleminin uygulanması sonrası tepe ve kulak bölgelerine ait a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki soğutma hızları grafiği.	40
Şekil 4. 6. HS-KT ısı işleminin uygulanmayan Alt Oturma parçasının X500, X200, X100 ve X50 büyütme oranları için mikroyapı görüntüleri.....	42
Şekil 4. 7. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 12 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısı işleminin uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X10 ve X50 büyütme oranları için mikroyapı görüntüleri.....	43
Şekil 4. 8. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 8 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısı işleminin uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X10,X50 – X200,X500 büyütme oranları için mikroyapı görüntüleri.....	44
Şekil 4. 9. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 4 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısı işleminin uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütme oranları için mikroyapı görüntüleri.....	45
Şekil 4. 10. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 12 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısı işleminin uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütme oranları için mikroyapı görüntüleri.....	46
Şekil 4. 11. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 8 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısı işleminin uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütme oranları için mikroyapı görüntüleri.....	47

Şekil 4. 12. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 4 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri.....	48
Şekil 4. 13. 1 kat (7 cm) 4 bar 10 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.	50
Şekil 4. 14. 1 kat (7 cm) 12 bar 10 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.	51
Şekil 4. 15. 1 kat (7 cm) 12 bar 30 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.	52
Şekil 4. 16. 2 kat (7 cm) 12 bar 30 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.	53
Şekil 4. 17. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulaması sonrası kenar ve kulak bölgelerine ait a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki sertlik testi sonuçlarının sütun grafiği.....	56
Şekil 4. 18. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulaması sonrası oda sıcaklığı ve -20°C'de a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki darbe çentik testi sonuçlarının sütun grafiği.....	59
Şekil 4. 19. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulaması a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki çekme testi sonuçlarının sütun grafiği.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. Düşük ve orta karbonlu çelikler için sıcak dövme işleminin sınıflandırılması.....	9
Çizelge 2. 2. Genel yapı çeliklerinin kimyasal bileşimleri	16
Çizelge 2. 3. Genel yapı çeliklerinin akma ve çekme dayanımları	17
Çizelge 2. 4. Genel yapı çeliklerinin tokluk değerleri	18
Çizelge 3. 1. Standardın ve ana malzemenin kimyasal kompozisyonu.	22
Çizelge 3. 2. HS-KT ısıtılma işlemi parametreleri.....	28
Çizelge 4. 1. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki tepe ve kulak bölgelerine ait soğuma hızları.	39
Çizelge 4. 2. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki kenar ve kulak bölgelerine ait sertlik testi sonuçları.....	55
Çizelge 4. 3. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki oda sıcaklığı ve -20°C’de darbe çentik testi sonuçları.....	58
Çizelge 4. 4. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki oda sıcaklığında çekme testi sonuçları.	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	:karbon
Mn	:mangan
Si	:silis
S	:kükürt
P	:fosfor
Cu	:bakır
Fe	:demir

KISALTMALAR

EN	:European Norm (Avrupa Normu)
HS-KT	:Hızlandırılmış Soğutma ve Kendini Temperleme
SEM	:Scanning Elektron Mikroskopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir yolları sektörü gün geçtikçe ilerlemekte ve buna bağlı olarak kullanım alanlarına göre daha mukavemetli, dayanımı yüksek, akma-çekme dayanımlarında iyileşme görülmüş, daha uzun ömürlü malzemelere olan ihtiyaç artmaktadır. Bu çalışmada, yenilikçi üretim yöntemlerinden QST ile yüksek akma dayanımı ve iyi tokluk özelliklerinin malzemeyle birleştirilmesi hedeflenmektedir.

Günümüz teknolojisinde çeliklerin dövülerek üretimlerinin yapılması oldukça yaygın kullanılan bir üretim çeşididir. Dövme, basma kuvvetlerinin etkisi altında genellikle sıcak, yarı sıcak veya soğuk olarak parçaya şekil verme işlemi olarak adlandırılır. Birçok parça yüksek mukavemet istendiğinde dövme yoluyla şekillendirilir.

Çalışma kapsamında, dövülerek üretimi gerçekleştirilen Alt Oturma isimli S355J2 kalite çelik hava-su karışimli soğutma sistemi kurularak ve bu karışımın parçaya uzaklığı, basınç değişimleri gibi etkenlerle optimum şartlar belirlenecektir. Dolayısıyla, dövme işleminden sonra gerçekleşen su verme işlemi parçanın daha dayanıklı, uzun ömürlü, daha mukavemetli ve var olan özelliklerinde optimum şartlarda iyileşme görülmüş bir parçaya dönüşmesini amaçlamaktadır. Bu sebeple çalışmada ısıl işlemi gerçekleştiren sistem tasarımı, üretimi ve optimum malzeme mekanik özelliklerinin kazanılması için nozulların yerleştirildiği soğutma plakası ile parça arasındaki mesafe, 4, 8 ve 12 bar hava basıncı eşliğinde şehir şebeke basıncındaki su ve 10, 20 ve 30 sn soğutma süreleri ısıl işlem parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu yöntem ile Hızlandırılmış su verme ve kendini temperleme (HS-KT) işlemi parametrelerinin mekanik özellikler (çekme testi, darbe testi, sertlik ölçümü) sonuçları üzerinde etkisini belirlemek ve optimum mekanik özellikleri veren hava basıncı, süre ve mesafeyi ortaya çıkarması hedeflenmektedir. Optimum hava basıncı, süre ve mesafenin belirlenmesi için mekanik test sonuçlarının yanı sıra HS-KT ısıl

işlemi süresince belirli noktalardan alınan sıcaklık sonuçlarından da yararlanılacaktır. Zamana karşı sıcaklık değişim grafiklerinden ötektoid çizgisi altında minimum sıcaklık-süre değerleri ile kendi kendine temperleme işlemi başlangıç sıcaklığı ve süresi okunacaktır. Bu tez çalışmasında beklenti-hedef, kendi kendine temperleme başlangıç sıcaklık çukurunun çok daha düşük olması mekanik özelliklerinin yüksek olmasına sebep olmasıdır.

Hazırlanan bu çalışmada, konunun stratejik önemini ve ülkemiz açısından kazanımını belirten kısa bir giriş ile birlikte ikinci bölümde, bu çalışmada kullanılan yapı çeliği, dövme prosesi ile üretimi ve “Accelerated Cooling Self Tempering (AC-ST) yani Hızlandırılmış Soğutma ve Kendini Temperleme (HS-KT)” hakkında literatür taraması anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan Alt Oturma parçasına uygulanan hızlandırılmış soğutma ısıl işlem sisteminin tasarımı ve belirlenen parametrelerin uygulanması ile mekanik testlere yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, HS-KT ısıl işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının mekanik testlerinden elde edilen veriler, kolay anlaşılabilmesi ve değerlendirilebilmesi için grafik olarak çizilmiş ve elde edilen grafikler değerlendirilmiş olup ayrıca, optik mikroskop çalışmaları sonucu elde edilen görüntülere yer verilmiş ve yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler, daha önce çalışması yapılmış benzer konular ile sebep-sonuç ilişkisi ile kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı beşinci ve son bölümde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

ÇELİKLERE UYGULANAN PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ VE ISIL İŞLEMLER

2.1 ÇELİK ÜRETİMİ TARİHÇESİ VE ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

Demir çelik endüstrisi, dünyanın en eski ve en önemli üretim sektörlerinden birisidir. Demir, 3000 yıl kadar önce, insan kültürü ve uygarlığına temel teşkil etmektedir. Günümüzde, demir kullanımı demir çağı olarak adlandırılan dönemden daha önce başlamıştır. Kafkasya'nın kuzeyindeki Küçük Asya'da ilk olarak demir üretimi yapılmıştır [1].

Geçmişten günümüze gelen ve insanlık tarihinde medeniyetlerin oluşması, gelişmesi ile toplumsal yapıların değişmesine katkı sağlayan önemli buluş, demirin ergitilmesi işlemi ile çeliğin elde edilmesidir [2].

10. yüzyılda su çarkının gelişi, demir üretim teknolojisinde devrim yaratmıştır. Hidrolik güç, cevher yataklarına kadarki yakınlıktan daha önem arz eder hale gelmiştir. 12. yüzyıla gelindiğinde ise ilk yüksek fırın denemeleri görülmekte ve buralarda pik demir üretimi ticari olarak 14. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır [3].

19. yy'ın sonuna gelindiğinde yapı endüstrisinde (çelik konstrüksiyon yapılar), ulaşımda (denizyolu, demiryolu, karayolu ve havayolu taşımacılığı) ve savunma sanayisinde (zırhlı araçlar, denizaltı vb.) devrim niteliğinde yenilikler meydana gelmiştir [4].

Tarih boyunca tüm medeniyetler, insanın yaşam standardını yükseltmek için malzemeleri kullanmışlardır. Teknolojik gelişmelerin de getirdiği gereksinimler sebebiyle içinde olduğumuz bilgi çağında, malzemelerin tüm özelliklerinin

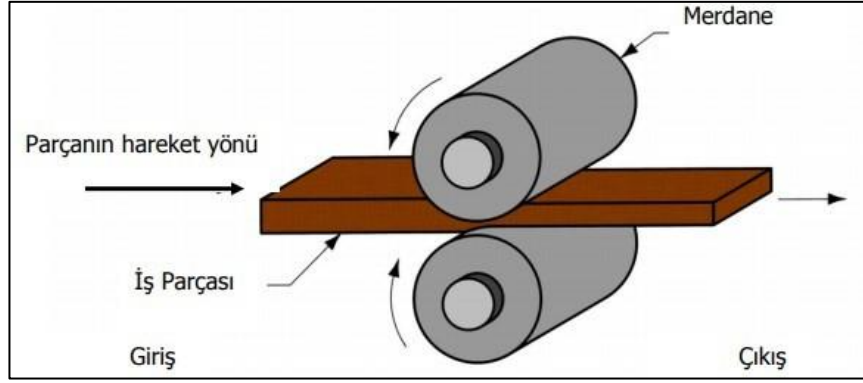
geliştirilmesi ve anlaşılması adına çok sayıda araştırma ve analizler yapılmıştır. Her dönemin uygarlıkları ve teknoloji düzeyi, dönemin kullanılan malzemeleri ile ölçülmüştür. Öte yandan teknolojik ilerlemeler, malzeme bilimindeki ilerlemelere bağlı olarak da gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak raylı taşımacılıktaki gelişmeler çelik sektöründeki ilerlemelerle, elektronikte atılan büyük adımlar ise yarı iletkenlerin bulunması ile gerçekleştirilmiştir [5].

Bugünkü ekonomimizin büyük bir bölümünü malzemelerin üretilmesi ve kullanım amacına uygun düzeye getirilmesi oluşturmaktadır. Malzemelerin üretilmeleri için gerekli teknikleri mühendisler tasarlamaktadır. Malzemelerin üretiminde, her bir amaç için en uygun malzemenin belirlenebilmesi ve bu üretimlerde en uygun yöntemin seçilebilmesi, mühendislerin malzemelerin gerekli özellikleri ve iç yapısı ile ilgili bilgi sahibi olmalarını gerektirmektedir [6]. Diğer yandan, yüksek dayanımlı malzemelere olan talebin yükselmesi, daha iyi mekaniklere sahip yeni malzemelerin üretilmesine olan ilginin artmasına sebep olmuştur.

Metallerin endüstride oldukça geniş bir uygulama alanı bulmalarının nedeni, çeşitli özelliklere sahip olmalarındandır. Özellikle çelikler, üstün mekanik özelliklerde olduklarından, makine ve yapı malzemesi olarak kullanılırlar [7].

2.1.1. Haddeleme

Geçmişe bakıldığında haddeleme metallerin şekillendirilmesinde kullanılan önemli yöntemler arasındadır. Haddeleme işlemi Şekil 2.1’de gösterildiği gibi malzemenin dönen iki silindirik merdane arasından geçmesiyle ve yüksek basınç altında kalıcı şekil değiştirmesidir. 1500’lü yılların sonlarında gelişmeye başlayan haddeleme, hızlı üretim ve ekonomik olması sebebiyle ayrıca diğer yöntemlere nispeten hızlı, uzun iş parçalarının üretimine yatkın olmasından dolayı günümüzde kullanılan en yaygın metal işleme yöntemidir [8].



Şekil 2. 1. Haddeme işleminin şematik gösterimi [8].

Haddeme prosesi, genel olarak soğuk haddeme ve sıcak haddeme olacak şekilde ikiye ayrılır. Sıcak haddeme kısaca ingotların, slab, kütük ve blum gibi ilk ürünlere dönüştürülmesidir. Soğuk haddeme ise hassas boyut kontrolü ve kaliteli yüzeyin arandığı saç, folyo ve bant üretimidir. Endüstride, ürünlerin haddelenmesi ile üretilen dikişsiz boru, profil, levha, plaka, kiriş, çubuk, ray, folyo, şerit ve lama gibi nihai mamüller kullanılmaktadır [9].

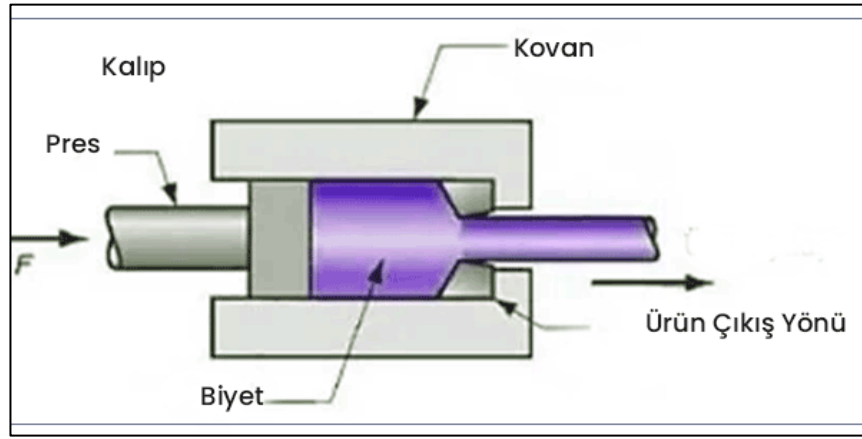
Soğuk haddeme ve sıcak haddeme olarak ikiye ayrılan haddeme prosesi, imalat süreçlerindeki şekillendirme yöntemi ile ayırt edilir. Sıcak haddeme de yüksek fırın veya elektrik ark ocağında 1400°C'ye varan yüksek sıcaklıklarda, soğuk haddeme ise oda sıcaklığında üretim yapılmaktadır [10].

Haddeme işlemi sırasında merdaneler birbirlerine zıt yönde ve aynı hızla dönerler. Malzemeler istenilen şekilleri bu merdanelerin hareketi esnasında alırlar. Malzemede oluşan deformasyon, merdanelerin malzeme üzerindeki sıkıştırma kuvveti ve merdane ile malzeme arasında oluşan sürtünme ile yüzeydeki kayma gerilmeleri ile oluşur. Ayrıca oluşan sürtünme kuvveti ile malzeme, merdaneler arasında ilerlerken kesitinde küçülme meydana gelirken boyunda da uzama meydana gelir [11].

2.1.2. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi bir metal bloğun ısıtılarak sünek bir yapı ve kolay dövülebilecek sıcaklığa kadar ısıtılarak belirli bir şekle ve büyüklüğe sahip olan

bir kalıbın içerisinde geçmeye zorlanarak bu metal bloğun plastik deformasyona uğramasına denir. Ekstrüzyon işlemi için ilk malzeme haddelenmiş kütüklerdir. Dört çeşit ekstrüzyon türü vardır. Bunlar; doğrudan ekstrüzyon, dolaylı ekstrüzyon, sıcak ekstrüzyon ve soğuk ekstrüzyondur. Doğrudan ekstrüzyon, ısıtılan kütüğün bir piston yardımıyla kalıba iterek, dolaylı ekstrüzyon metalin içi boş bir pistonun içine doğru tersine hareketi ile gerçekleşir. Sıcak ekstrüzyon, metalin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılarak yapılan ekstrüzyon çeşididir. Soğuk ekstrüzyon ise oda sıcaklığında gerçekleşir [12].



Şekil 2. 2. Ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi [12].

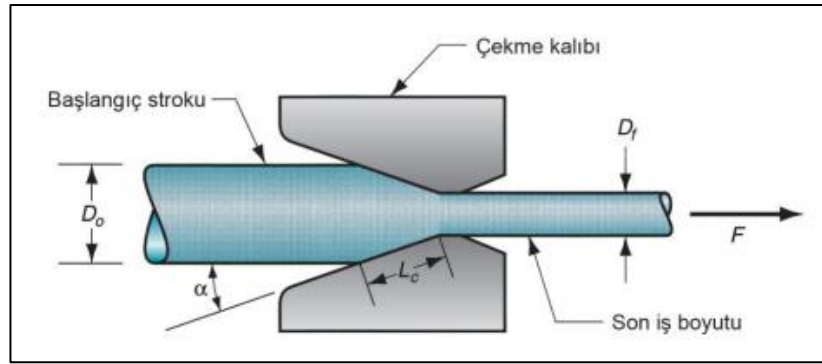
Sıcak ekstrüzyon sonrasında görülen çekme mukavemetindeki iyileşmeler genellikle küçülen tane boyutundan ve homojen mikroyapıdan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu faktörler, ekstrüzyon işlemi sonrasındaki fiber dokunun yoğunluğunda da iyileşmeler sağladığından darbe geçiş sıcaklığını da etkiler. Tüm bu özellikleri yanı sıra optimum iyileşmeler elde etmek için, ferritik dönüşüm sonrasında yeniden kristalleşme derecesi mümkün oldukça düşük tutulmalıdır. Ekstrüzyon sıcaklığının yükseltilmesi yeniden kristalleşme derecesini de arttıracığından daha düşük gerilmelerin meydana gelmesine neden olacaktır [13].

Çelik parçaların soğuk ekstrüzyon ile üretimi günümüzde imalat endüstrileri için oldukça önemli hale gelmektedir. Bunun sebebi, soğuk ekstrüzyon sonrasında pürüzsüz yüzey kalitesi, iyi boyutsak doğruluk ve mekanik özelliklerdeki iyileşmelerden kaynaklanmaktadır. Soğuk ekstrüzyon aynı zamanda karmaşık

geometrik şekilli parçaların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [14].

2.1.3. Tel Çekme

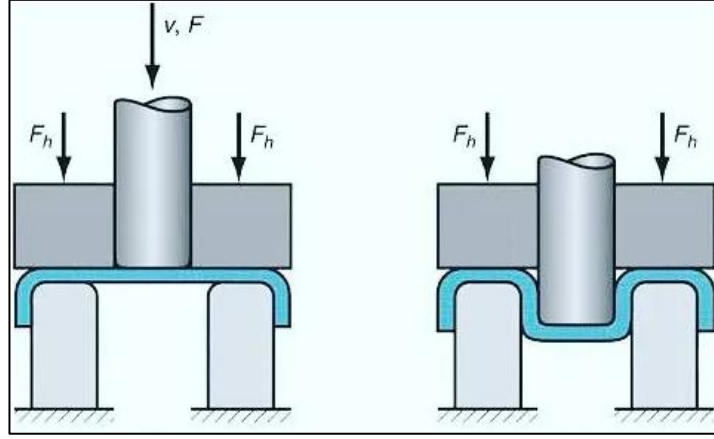
Tel çekme, Şekil 2.3’de gösterildiği gibi filmaşın adı verilen dairesel olarak ambalajlanmış tel çekme işlemi için kullanılan yarı mamülün bir blok yardımıyla çekilip kesitini küçülterek mukavemet kazandırma işlemine denir. Çoğunlukla eksenal bir simetriye veya dairesel bir kesite sahip ürünler bu çekme yöntemiyle elde edilir [15].



Şekil 2. 3. Tel çekme işleminin şematik gösterimi [16].

2.1.4. Derin Çekme

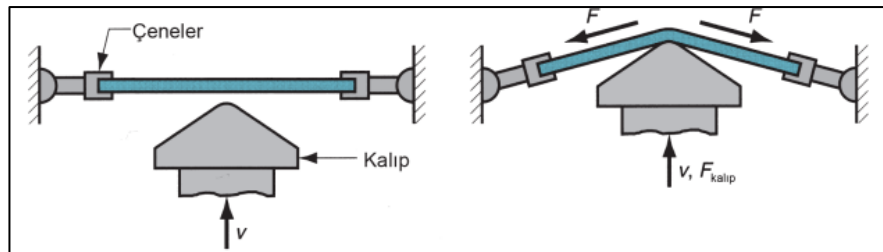
Derin çekme yöntemi, Şekil 2.4’de gösterildiği gibi sac malzemelerin üç boyutlu, içi boş, istenilen forma getirilmesi için orta kısımlardan çekme kuvveti kenarlardan basma kuvveti uygulanarak şekil verilmesine denir. Günlük yaşantımızda kullandığımız birçok araç ve gereçler bu yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Yöntemi uygularken parçaya uyguladığımız yükün kaldırılmasıyla malzemenin geri yaylanma hareketi yapmamasına dikkat edilmelidir. Bu sorunu önlemek ya da en aza indirmek için işleme uygun kalıp yapılıp, sonlu elemanlar programlarından yararlanılmaktadır [17].



Şekil 2. 4. Derin çekme işleminin şematik gösterimi [18].

2.1.5. Gererek Şekillendirme

Gererek şekillendirme yöntemi, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi bir iş parçasını sistemdeki çeneler yardımı ile tutarak uç kısımlardan gerdirmeye işlemi yapıp şekil verilen sac şekillendirme işlemine denir. Bu şekillendirme yönteminde geri yaylanma dediğimiz şekillendirme işlemindeki olumsuz özellik gerdirmeye işlemi yapılırken aynı zamanda eğme bileşkesi ile en aza indirilir. Gererek şekillendirme işleminde karmaşık geometrilere sahip parçalar kolaylıkla üretilebilir. Ayrıca ekonomik olması sebebiyle uzat ve havacılık endüstrisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [19].



Şekil 2. 5. Gererek şekillendirme işleminin şematik gösterimi [19].

2.1.6. Dövme

Dövme işlemi, geleneksel sıcak dövme, kontrollü sıcak dövme (veya yarı sıcak dövme) ve uygun biçimlendirme gibi üç kategoriye ayrılabilir. Geleneksel sıcak dövme sıcaklıkları, yeniden kristalleşme sıcaklığının (T_R) 1000 °C ile 1200 °C

üzerindedir. Kontrollü dövme sıcaklıkları T_R ve A_{C3} arasındadır. Şekillendirme sıcaklıkları Şekil 2.6'da belirtilen A_{C3} 'ten düşük yarı kararlı bir östenit bölgesine karşılık gelir. Dövme sıcaklığı ne kadar düşük olursa, mikro yapı o kadar ince taneli olur. Her dövme için, son soğutma hızları, sırasıyla martenzit, beynit ve ferrit-perlit matris yapılarıyla sonuçlanan su verme, hızlı soğutma ve orta soğutma olmak üzere matris yapısının tipini belirler [20].

Çizelge 2. 1. Düşük ve orta karbonlu çelikler için sıcak dövme işleminin sınıflandırılması.

atama	Dövme Sıcaklığı	Dövme Aşaması	Sıcak Dövme Sonrası Çelik Tipi		
			Difüzyon Dönüşümü	Difüzyon Olmayan ve Difüzyon Dönüşümü	Difüzyonsuz Dönüşüm
Geleneksel sıcak dövme	$> T_R$	östenit			
kontrollü sıcak dövme	$T_R - B_{IR} C_3$	östenit	PHFP çelik, PHFP-M çelik, beynitik çelik, TBF çelik, tek adımlı Q&P çelik, Nano-B çelik	iki aşamalı Q&P çeliği, TBM çeliği	Q&T çeliği, TM çeliği, Martensit tipi M-Mn çeliği
uygun biçimlendirme	$< A_{C3}$	yarı kararlı östenit			

PHFP çelik: V-mikro alaşımlı çökeltme sertleştirmeli ferritik-perlitik çelik, PHFP-M çelik: modifiye PHFP çelik, Q&T çelik: su verme ve temperleme çeliği, TBF çelik: TRIP destekli beynitik ferrit çelik, Q&P çelik: su verme ve bölme çeliği, Nano- B çeliği: nanoyapılı beynitik çelik, TBM çeliği: TRIP destekli beynitik ferrit-martensitik çelik, TM çeliği: TRIP destekli martensitik çelik, M-Mn çeliği: orta Mn çeliği, T_R : yeniden kristalize sıcaklık [20].

artmıştır. Özellikle sıcak dövme işlemindeki mikroyapı evrimi, malzemenin mekanik özellikleri üzerinde bir etkiye sahiptir, çünkü malzemenin akış gerilimi dinamik ve statik yeniden kristalleşme, tane büyümesi vb. Malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek için, termomekanik ve proses parametreleri ile malzemenin mikro yapısının gelişimi arasındaki ilişkiyi ölçmek gerekir. Bununla birlikte, sıcak dövme sürecini analiz etmek çok zordur çünkü tüm değişkenler termal ve deformasyon geçmişine göre değişiklik göstermektedir [24].

Yarı kararlı östenitin şekillendirilmesi işlemi, östenitik tane inceltme işlemine bağlı olarak hem mukavemeti hem de darbe tokluğunu artıran önemli bir dövme tekniğidir. Artan akma gerilimi, çekme mukavemeti ve darbe tokluğu, hücre yapısı olmadan artan dislokasyon yoğunluğu östenitik tane inceltmesinden kaynaklanır [25].

Demir yolu ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yapısal parçaların üretimi için, yüksek mukavemetli ve ultra yüksek mukavemetli çelikler üzerinde yapılan araştırmalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Gelişmiş modern ultra yüksek dayanımlı çelikler, özellikle dövme için kullanıldıklarında mikro yapı ve mekanik özellikler detaylı incelemeler gerektirir. Ultra yüksek mukavemetli çeliklerin teorik ve deneysel araştırmaları bu çeliklerin dövme davranışı, işleme prosesleri, farklı tavlama sıcaklıklarının malzemenin gecikmeli kırılmaya duyarlılığı üzerindeki etkisi, hidrojenin enerji spektrumlarının belirlenmesi veya statik kayma gerilmelerinin bu çeliklerin döngüsel yorulma davranışı üzerindeki etkileri olarak sayılabilir [26].

Otomotiv sektöründeki seri üretim sistemleri, dövme parçalara olan talebi artırdı ve bu da soğuk veya sıcak dövme gibi yeni dövme işlemlerinin gelişmesine yol açtı. Dövme işlemi, genellikle birden çok ön biçimlendirme işlemi ve ardından belirli bir bitirme işlemi içerir. Bu süreçlerin tasarlanması, dövme sektörü mühendislerinin çok fazla deneyime sahip olmasını ayrıca kaliteyi, maliyetleri ve tedarik süresini optimize etmek için bir teknik standart sistemin oluşturulmasını gerektirir. Böylece son zamanlarda dövme işlemlerini optimize etmek için dövme simülasyon tekniklerinin uygulanması hem popüler hem de faydalı olmuştur [27].

Demiryolu vagonu boji parçalarının zor biçimlendirme ve karmaşık yapıda olmaları özelliklerinden dolayı, proses analizinden sonra dövme şekillendirme işlemi önerilmiş ve şekillendirme işlemi tasarlanarak optimize edilmiştir. Dövme işlemini simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılır ve dövme işlemi sırasında sıcaklık alanı, eşdeğer gerilim alanı ve strok yükü gibi önemli alan dağıtım yasaları sistematik olarak analiz edilerek dövme işlemindeki kusurlar tahmin edilir. Nihai dövme kuvvetinin büyüklüğü ve dövmenin gerçek hacmi ile ideal hacim arasındaki fark, demiryolu vagonu boji parçalarının dövülerek şekillendirme doğruluğunun değerlendirme parametreleri olarak önerilmiştir. Dahası, iş parçasının ön ısıtma sıcaklığı, kalıp dövme hızı ve sürtünme faktörü arasındaki etkileşimin demiryolu vagonu boji parçalarının şekillendirme kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonlu elemanlar analitik sonuçları, elde edilen en iyi proses parametrelerinin gerçek dövme üretiminde kullanıldığını ve elde edilen dövmelerin her bölgede iyi tanımlanmış seviyelere ve mükemmel şekillendirme kalitesine sahip olduğunu göstermektedir. Deney, dövmenin tamamen optimize edilmiş işlem parametreleri altında oluşturulduğunu ve ürün gereksinimlerini karşıladığını doğrular, böylece demiryolu vagonu boji parçalarının sıcak kalıpla dövülmesi için teorik ve teknolojik rehberlik sağlar [28].

Sıcak dövme endüstrisinde, diğer bir önemli konu ise, kalıp ömrü, üretim kaybı, kalıp bloklarının değiştirilmesi, boşlukların reçinelenmesi ve kalıpların işlevsel olarak taşınması ile ilgili maliyet nedeniyle önemli bir süreç faktörü haline gelmiştir. Bununla birlikte, kalıpları etkileyen aşınma türü veya bir durumdan diğerine değişen kalıp arızasının nedenleri konusunda hala bir fikir birliği yoktur. İncelenen kalıplarda, olası aşınma dışında, kalıp yüzeylerinin plastik akışı, yorulma çatlaması, yüksek termal yüklerin başlattığı ufalanma ve mikroyapısal değişikliklerde yer verilmiştir. Yapılan metalografik gözlemler, kalıpların maruz kaldığı yük, termal dalgalanmalar, üniform olmayan yağlama vb. gibi işlem koşullarına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir [29].

Günümüzde sıcak dövme işlemi sırasında herhangi bir iç ve dış kusuru olmayan sağlam ürünler üretebilmek için kalıp ömrünün nasıl uzatılabileceğine bağlı olarak üretim maliyetleri de değişmektedir. Üreticiler, maliyetlerin düşürülmesi ve yeni bileşenlerin geliştirilmesi sorumluluğu konusunda giderek daha fazla baskı

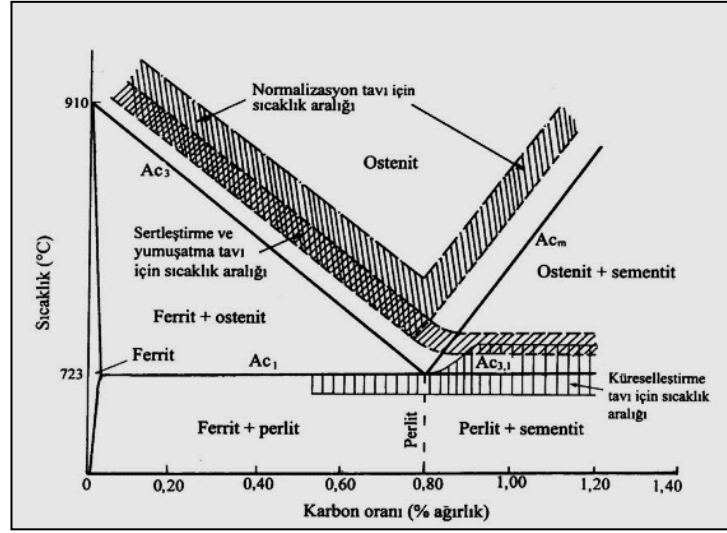
altındadır. Bu gereksinimler otomotiv endüstrisinde daha kritiktir. Bu nedenle, malzeme bilimi ve metalurji alanlarının yanı sıra alet tasarımı alanındaki teknik becerilerin geliştirilmesi de oldukça önemlidir. Dövme endüstrisinde, takım maliyetleri bir bileşen maliyetinin yaklaşık %50'sine kadar ulaşabilir. Bu nedenle, bileşen maliyetlerinin düşürülmesinin, özellikle performans ve hizmet ömründe bir iyileştirme olmak üzere önemli bir yere sahiptir. Sıcak dövme işlemi sırasında, dövme takımları sadece mekanik gerilimlere değil, aynı zamanda termal döngü ve ardışık dövme işlemlerinin neden olduğu termo mekanik gerilimlere de maruz kalır [30].

2.2. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Demir-karbon alaşımında bulunan çeliklerin mekanik özellikleri, içlerindeki karbon miktarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca, bazı alaşım elementlerinin alaşım sistemine katılmasıyla veya belirlenecek uygun ısı işlemler ile çeliklere daha üstün mekanik özellikler sağlamak mümkündür. Dolayısıyla çeliklerin mekanik özellikleri, mikro yapılarına büyük ölçüde bağlıdır. Çeliklerin içerdikleri karbon ve çeşitli alaşım elementlerinin miktarı ve/veya ısı işlemleri, çeliğin mikro yapısını değiştirerek daha iyi mekanik özelliklerin oluşmasına olanak sağlamaktadır [31].

Isıl işlem teriminden, malzemelerin katı halde bulunan sıcaklık değişimleriyle bir veya birden çok işleme, amaca uygun özellik elde etmek çıkarılır. Isıl işlemler, parçaların belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta uygun süre bekletilmesi ve belirli usule uygun olarak sıcaklığın oda sıcaklığına soğutulması ile üç aşamada uygulanır ve istenilen özellik değişimleri elde edilir [32].

Literatürde çeliklerin ısı işlemleri sırasında oluşan fazlar ile mekanik özellikler arasında bir ilişkiden söz edilmektedir. Şekil 2.7'de karbon oranına bağlı istenilen özelliklere göre uygulanabilecek tavlama sıcaklıkları gösterilmektedir.



Şekil 2. 7. Alaşımsız çeliklere uygulanan normalizasyon, yumuşatma, küreselleştirme ve sertleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları gösterilmektedir [33].

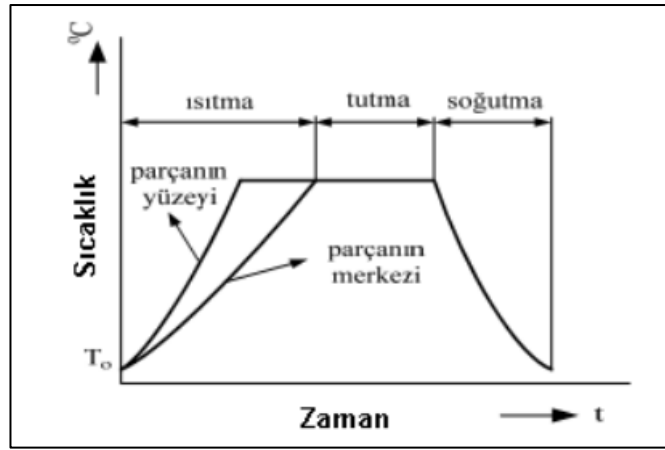
Çeliklere uygulanan tüm ısı işlemler, östenit fazın dönüşümüyle ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin bileşimi, metalografik yapısı ve türü çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Östenitleştirme; çeliğin Ac_1 sıcaklık çizgisinin üzerinde bulunan uygun sıcaklığa kadar ısıtılması ve yapısının tam anlamıyla östenite dönüşmesine kadar bekletilmesi anlamına gelmektedir.

Ötektoid altı çeliklerde östenitleştirme işlemi, üst kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_3) 40-60 °C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Bu çeliklerin Ac_1 ile Ac_3 arasındaki sıcaklıklarda tavlama ile östenit ve ferritten oluşan bir yapı oluşturulur. Tavlama işleminden sonra, çelikler nispeten daha yavaş bir soğuma hızında soğutulduklarında, östenit içinde çözülmüş karbon atomları, difüzyon ile östenit yapıdan ayrışır. Sonrasında, demir atomları konumlarını bir miktar değiştirerek yeni bir hacim merkezli kübik yapıya sahip olurlar. Burada östenit (γ)-ferrit (α) dönüşümü, zamana bağlı olan çekirdeklenme ve büyüme olayı olarak gerçekleşmektedir. Soğuma hızı arttığında, karbon atomları difüzyon ile östenit yapıdan ayrışmak için yeterli zamana sahip olamazlar. Demir atomları biraz hareket etseler bile, karbon atomlarının yapı içerisinde hapsedilmeleri sebebiyle, hacim merkezli kübik bir yapıya dönüşümü sağlanamaz ve farklı bir yapıya sahip olur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya, martenzit adı verilir. Çeliklerde su verme işleminin yapılması, martenzit oluşumuna

kıyasla daha karmaşık bir mikro yapısal evrimi ve ardından martenzitten östenite karbon ayrılmasını içerir [34].

2.2.1. Tavlama

Tavlama ısıl işlemi, bir metal malzemeyi beklenen mekanik ve fiziksel özellikleri karşılması, soğuk şekillendirmeyi ve talaş kaldırmayı kolaylaştırması, tokluğu ve sünekliği artırarak belirli bir iç yapının oluşmasını sağlamak amacıyla Şekil 2.8'de gösterildiği gibi uygun bir sıcaklığa ısıtılıp elde edilmek istenilen özellikler sağlanıncaya kadar o sıcaklıkta tutulup sonrasında yavaş soğutma işlemidir [35].



Şekil 2. 8. Tavlama ısıl işleminin şematik gösterimi [36].

2.2.2. Sertleştirme

Sertleştirme ısıl işlemi, çeliğin yapısındaki alaşım elementlerine bağlı olarak, çeliğin östenitleşme sıcaklığına ulaşıncaya kadar ısıtılıp bir süre bekletildikten sonra ani olarak soğutulması ve böylece yapıda martenzit fazının oluşmasını sağlamak amacıyla yapılan ısıl işlem çeşididir [37].

2.2.3. Menevişleme

Sertleştirme ısıl işlemi sonrasında oluşan martenzit yapı son derece gevrek ve serttir. Ayrıca sertleştirme ısıl işleminde östenitin martenzite dönüşmesiyle malzemede

yüksek iç gerilmeler oluşur. Tüm bu istenmeyen sebeplerden dolayı malzemede oluşan gevrekliği gidermek, daha tok bir yapıya dönüştürmek ve ortaya çıkan iç gerilmeleri gidermek için menevişleme ısıl işlemi yapılır. Menevişleme ısıl işlemi, mazlemeyi A₁ sıcaklığının altında belirli bir süre ısıtılarak bu sıcaklıkta yine belirli bir süre tavlama işlemi uygulanıp sonrasında havada soğutulması işlemidir [38].

2.3. YAPI ÇELİKLERİ

Yapı çelikleri Dünya'daki çelik üretiminin en büyük oranına sahiptirler. Alaşımız olarak ifade edilen bu çelikler de azot ve fosfor gibi elementler başta olmak üzere, üretimden kaynaklanan mangan, silisyum, kükürt ve bakır elementleri de oldukça etkilidir [39]. TS EN 10025-2 standardına göre yapı çeliklerine ait kimyasal kompozisyonlar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Genel yapı çeliklerinin kimyasal bileşimleri [40].

Çelik Adı	Çelik Numarası	Deoksi- dasyon Yöntemi b	mm cinsinden nominal ürün kalınlığı için max % C			Si % max	Mn % max	P % max. d	S % max. d e	N % max. f	Cu % max	Diğer % max. g l
			≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ^c							
S235JR	1.0038	FN	0,19	0,19	0,23	-	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S235J0	1.0114	FN	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S235J2	1.0117	FF	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,035	0,035	-	0,60	-
S275JR	1.0044	FN	0,24	0,24	0,25	-	1,60	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S275J0	1.0143	FN	0,21	0,21	0,21 ^h	-	1,60	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S275J2	1.0145	FF	0,21	0,21	0,21 ^h	-	1,60	0,035	0,035	-	0,60	-
S355JR	1.0045	FN	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S355J0	1.0553	FN	0,23	0,23 ⁱ	0,24	0,60	1,70	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S355J2	1.0577	FF	0,23	0,23 ⁱ	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-
S355K2	1.0596	FF	0,23	0,23 ⁱ	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-
S460JR ^l	1.0507	FF	0,23	0,23 ⁱ	0,24	0,60	1,80	0,040	0,040	0,027	0,60	k
S460J0 ^l	1.0538	FF										
S460J2 ^l	1.0552	FF										
S460K2 ^l	1.0581	FF										
S500J0 ^l	1.0502	FF	0,23	0,23	0,24	0,60	1,80	0,040	0,040	0,027	0,60	k

Yapısal çelik sınıfları SXXX sembolü ile gösterilmektedirler. Akma dayanımına göre ifade edilen yapı çelikleri, öncelikli olarak çekme dayanımları ve akma sınırı değerleri dikkate alınır ve kaynaklı çelik yapı imalatında geniş kullanım alanına sahiptir. Çelik türü ifadesindeki sayı (XXX), kalınlığı 40 mm'yi geçmeyen elemanlar üzerinde

yapılan çekme testinde, N/mm^2 biriminde çeliğin minimum akma dayanımını ifade etmektedir. Örneğin, S355 kalite için çeliğin minimum akma dayanımı $355 N/mm^2$ yani $3550 kgf/cm^2$ 'dir. Tasarım aşamasında genel yapı çeliği seçerken Çizelge 2.3 ve 2.4'den kullanılacak çelik yarı mamul boyutlarının göz önünde bulundurulması gerekir [39].

Çizelge 2. 3. Genel yapı çeliklerinin akma ve çekme dayanımları [40].

Çelik Adı	Çelik Numarası	Minimum Akma Dayanımı R_{eH}^3 MPa Nominal Kalınlık mm									Gerilme Direnci R_m^3 MPa Nominal Kalınlık mm				
		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400	≤ 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S235JR	1.0038														
S235J0	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 to 510	360 to 510	350 to 500	340 to 490	330 to 480
S235J2	1.0117														
S275JR	1.0044														
S275J0	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 to 580	410 to 560	400 to 540	380 to 540	380 to 540
S275J2	1.0145														
S355JR	1.0045														
S355J0	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 to 680	470 to 630	450 to 600	450 to 600	450 to 600
S355J2	1.0577														
S355K2	1.0596														
S460JR ^b	1.0507														
S460J0 ^b	1.0538														
S460J2 ^b	1.0552	460	440	420	400	390	390	-	-	-	-	550 to 720	530 to 700	-	-
S460K2 ^b	1.0581														
S500J0 ^b	1.0502	500	480	460	450	450	450	-	-	-	-	580 to 760	560 to 750	-	-

Çizelge 2. 4. Genel yapı çeliklerinin tokluk değerleri [40].

Çelik Adı	Çelik Numarası	Sıcaklık °C	Minimum enerji KV_2 (J) mm cinsinden Nominal kalınlık		
			≤ 150 a b	> 150 ≤ 250 b	> 250 ≤ 400 c
S235JR	1.0038	20	27	27	27
S235J0	1.0114	0	27	27	27
S235J2	1.0117	-20	27	27	27
S275JR	1.0044	20	27	27	27
S275J0	1.0143	0	27	27	27
S275J2	1.0145	-20	27	27	27
S355JR	1.0045	20	27	27	27
S355J0	1.0553	0	27	27	27
S355J2	1.0577	-20	27	27	27
S355K2	1.0596	-20	40 ^d	33	33
S460JR ^e	1.0507	20	27	-	-
S460J0 ^e	1.0538	0	27	-	-
S460J2 ^e	1.0552	-20	27	-	-
S460K2 ^e	1.0581	-20	40	-	-
S500J0 ^e	1.0502	0	27	-	-

2.4. HS-KT VE BENZER UYGULAMALAR

Şimdiye kadar, çeliklere uygulanan bir ısı işlem olarak yüksek akışlı su püskürtme işlemi yaygın olarak kullanılmakta ve bu işlemin çalışma parametreleri hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır. Ayrıca su ve havanın birlikte kullanıldığı soğutma sistemleri hakkındaki çalışmalar literatürde yok denilecek kadar azdır. Bu nedenle su+hava karışım sistemlerinin kullanımı konusunda bu çalışmanın yapılması daha az su tüketimi sağlayacak ve çeliklere uygulanan ısı işlemlere alternatif olacaktır. Su verme ısı işlemi uygulanan malzemeler ile yapılan sınırlı literatür çalışmalarından bazıları aşağıdakiler gibidir.

"Su Verme ve Kendini Temperleme" işlemi adı altında yurtdışında günümüzde sınırlı sayıda ARBED (LUXENBURG), CRM (BELÇİKA) ve BRITISH STEEL (BÜYÜK BRİTANYA) gibi firmalar tarafından sergilenen soğutma işlemleri yoğun su yastığı (water pillow) oluşumu ile gerçekleştirilmekte olup günümüze kadar başarılı sonuçlar elde edilmiştir. HISTAR® (HIGH STRENGTH ARcelor) markasıyla da pazarlanan,

Avrupa ve Amerika'nın ulusal standartlarında EN10113-3:1993, ASTM A913-01 ve DIN 18800-7:2002 kodları ile yer almış konvansiyonel yapısal çelikler arasında yüksek dayanımlı çelik olarak adlandırılmış ve performansları onaylanan çelik kalitesinde üretilen çelik profiller, uzay çatıların geniş açıklıklı çelik elemanları, yüksek binalarda bulunan ağır yük taşıyan "Jumbo" çelik kolonları, kompozit köprülerin derin çelik kirişleri, derin temellerde bulunan çelik zemin kazıkları gibi olan özellikli uygulamalarda Avrupa'da ilk günden bu yana büyük bir başarı ile kullanılmaktadır [41].

Su verme ve tavlama (Q&T), belirli bir sertlik ve mukavemette maksimum tokluk ve süneklik elde etmek için kombine bir ısı işlem sürecidir. Düşük maliyetle mekanik özellik gereksinimlerini karşılamak için su verme ve tavlama işlemi için matematiksel bir model geliştirmek önemlidir. Bu tez çalışması, çeliklerin su verme ve tavlama işlemi sırasında yapısal gelişimi ve sertlik dağılımını tahmin etmek için değiştirilmiş bir model sunmaktadır [42].

Geleneksel yüksek mukavemetli dövme çelikleri, otomotiv şasi parçalarının ve aktarma organlarının üretimi için gereklidir. Geleneksel yüksek mukavemetli dövme çeliklerinin çoğu genellikle akma gerilimini, darbe tokluğunu, yorulma dayanımını vb. artırmak için soğuk veya sıcak dövmeden sonra su verme ve temperleme (Q&T) ısı işlemine tabi tutulur. Q&T işlemi pahalı olduğundan, sıcak dövmeye tabi tutulmuş mikroalaşımli çökeltme sertleştirme ferritik/perlitik çelikler ve beynitik çelikler ve daha sonra kontrollü soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Her iki çelik de otomotiv aktarma organlarına ve şasi dövme parçalarına uygulansa da mekanik özellikleri Q&T çeliklerinden daha düşüktür. Son zamanlarda, otomotiv parçalarının ağırlığını azaltmak ve boyutunu küçültmek için daha yüksek mekanik özelliklere sahip ısı işlem görmemiş dövme çelikleri gerekmektedir. Birçok sıcak dövme parçada kullanılan geleneksel Q&T çelikleri, Q&T işlemi pahalı olmasına rağmen, yüksek akma gerilimi, yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe tokluğu ve yüksek yorulma dayanımı gibi son derece önemli olan mekanik özellikleri elde eder. Çekme mukavemeti ve darbe tokluğu diğer geleneksel yüksek mukavemetli dövme çelikleri ile karşılaştırıldığında, Q&T çeliği en yüksek çekme mukavemetine ve darbe tokluğuna sahiptir [43, 44, 45, 46, 47].

Çeliklerin HS-KT ısıı işlem sırasında östenit fazına getirildikten sonra ince taneli Ferritik+Perlitik mikroyapıları nedeniyle çeliklerin hem yüksek mukavemetli hem de yüksek tokluğa sahip beynit (benzer) bir mikro yapıya sahip olması beklenir [48].

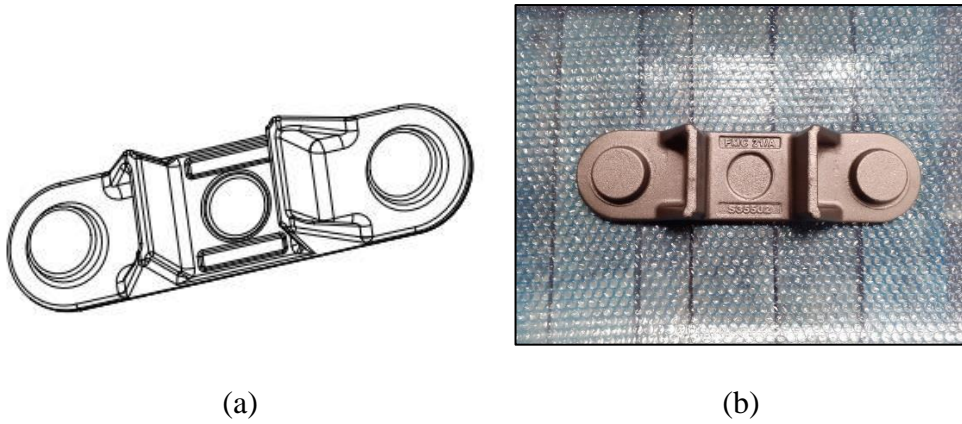
BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. ANA MALZEME

Bu çalışmada, çelik sektöründe önemli yere sahip olan alaşımsız düşük karbonlu S355J2 kalite çeliğinin dövme ile üretimi gerçekleştirilen ve demir yolu boji şasesi üzerine konumlandırılan “Alt Oturma” isimli parçalar kullanılmıştır.

Dövme üretimi Alt Oturma parçasının 60 mm çapındaki S355J2 kalite hammaddeden kesilip fırında 1180°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra, yaklaşık 45 sn. fırının içerisinde tutularak sonrasında 4 kaba vuruş ve 2 finish vuruş olacak şekilde LASCO makinesi ile yapılmıştır. Üretilen Alt Oturma parçası Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Alt oturma parçasının a) teknik resmi ve b) dövüldükten sonraki hali.

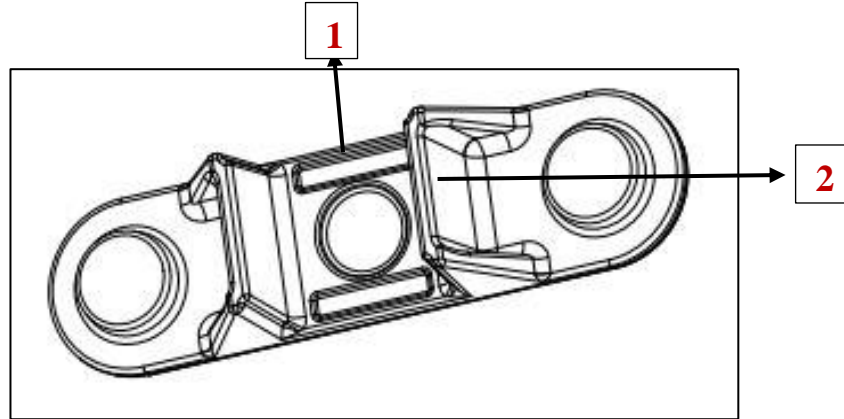
Kullanılan Alt Oturma parçasının kimyasal bileşimi (% ağırlık olarak) Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Alt Oturma parçası EN 10025-2 standardına göre üretilmiş ve kimyasal kompozisyonu standarda uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. 1. Standardın ve ana malzemenin kimyasal kompozisyonu.

Malzeme Kalitesi	(% Ağı.)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
EN 10025-2 (max)	0,22	0,55	1,6	0,03	0,03	0,55
Alt Oturma (S355J2)	0,19	0,21	1,37	0,012	0,007	0,22

3.2. MALZEME HAZIRLAMA

S355J2 kalite Alt Oturma parçasına HS-KT ısıtma işlemi esnasında sıcaklık değişimlerini takip edebilmek için Şekil 3.2’de verilen ve parça üzerinde 1 – 2 numaralar ile gösterilen yerlere termokulpların uçlarının takılabilmesi için 4 mm çapında 15 mm derinliğinde delikler matkap ile açılmıştır. 1 numara olarak gösterilen bölge tepe, 2 numara ile gösterilen bölge ise kulak olarak belirlenmiştir.



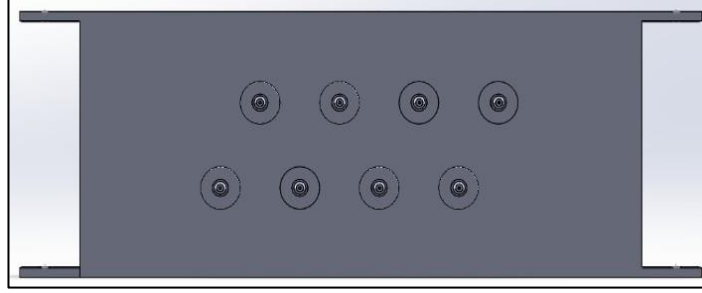
Şekil 3. 2. Termokulpların yerleştirilmesi için açılan deliklerin pozisyonları.

3.3. HS-KT ISIL İŞLEMİNİN TASARIM VE İMALAT PARAMETRELERİ

Dövülerek üretimi yapılmış S355J2 kalite Alt Oturma parçalarına Hızlandırılmış Su Verme ve Kendi Kendini Temperleme ısıtma işlemi için HS-KT- ısıtma işlem sistemi tasarlanmıştır.

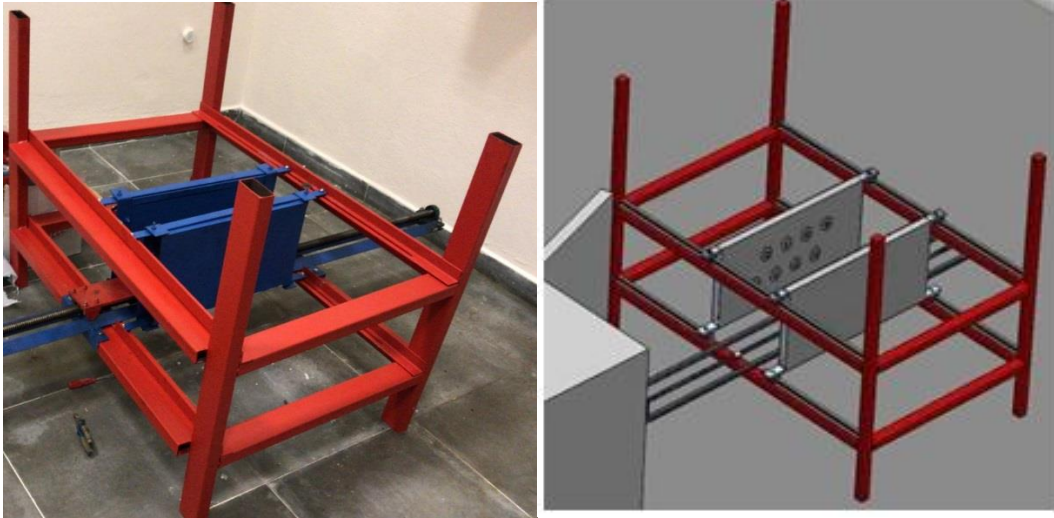
8 adet nozulun hava+su karışımını kendi içinde sağlayan soğutma plakası, Şekil 3.3’de gösterildiği gibi tasarlanarak imalatı yapılmıştır. Alt Oturma parçaları, karşılıklı 2 adet

soğutma plakasının arasında kalacak şekilde konumlandırılarak parça boyunca HS-KT ısıtma işlemi uygulanmıştır.



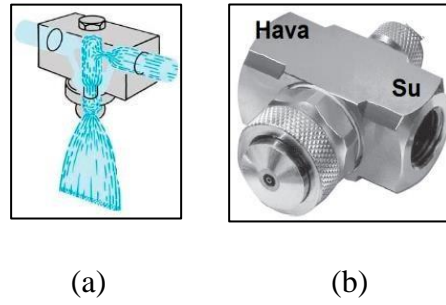
Şekil 3. 3. Tasarımı yapılan soğutma plakasındaki nozulların gösterimi.

Şekil 3.4’de çelik konstrüksiyondan imal edilen lineer bir kızak üzerine tasarımı yapılan soğutma plakaları birbirlerine doğru hem yaklaşabilecek hem de uzaklaşabilecek şekilde monte edilmiştir. Ayrıca Alt Oturma parçalarının soğutucu plakalar arasında test edilebilmeleri için bu tasarıma bir de lineer bir kızak daha eklenmiştir. Bu lineer kızak sayesinde, fırın içerisinde östenitleme ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçalarını, fırın kapağının hemen önünden soğutucu plakalar arasına sıcaklık kaybı en az olacak şekilde ulaştırılacaktır.

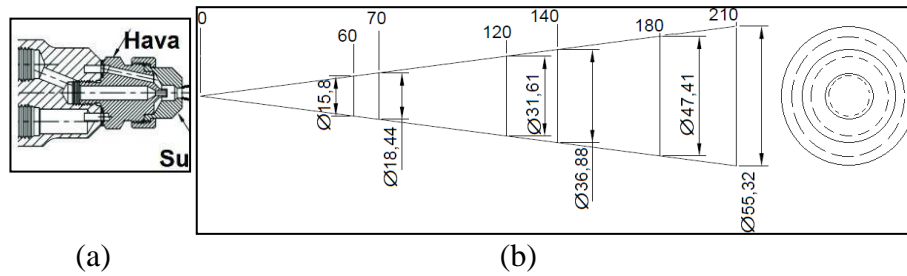


Şekil 3. 4. HS-KT sistemi ve tasarımı.

Şekil 3.5’de HS-KT ısıtım sisteminde hava+suyu kendi içerisinde karıştırarak dairesel bir alanı soğutan nozul kullanılmıştır. Kullanılan bu nozun 15° açı ile basınçlı hava+su karışımını dairesel olarak ısıtım işlemi yapılacak Alt Oturma parçalarına ulaştıracaktır. Nozul sistemi parçadan uzaklaştıkça daire çapı yani etki alanı büyüyor gibi görünse de, mesafe arttırıldıkça parçayı soğutma etkisi de azalmaktadır. Optimum soğutma etkisinin ve nozulun etki ettiği alanın mesafe değerleri nozul ucundan itibaren başlanarak test parametreleri olarak belirlenmiştir. Şekil 3.6’da nozulun ucundan itibaren oluşturduğu dairesel soğutma alan çaplarının mesafeye göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3. 5. Nozul sisteminde ki basınçlı hava+su karışımınının a) şematik ve b) gerçek görünümü.



Şekil 3. 6. Nozul sisteminin etki ettiği alanın mesafeye göre değişiminin a) yandan ve b) önden gösterimi.

Şekil 3.7’ de verilen HS-KT ısıtım işleminin sistem tasarımında kullanılan ve bu sistemin ihtiyacı olan basınçlı hava 15 bar kapasiteli Yiğitsan marka kompresör yardımıyla karşılanacaktır.



Şekil 3. 7. HS-KT ısıtım sisteminde kullanılan kompresör.

Şekil 3.8’de çalışma kapsamında HS-KT ısıtım işlemi için gerekli olan sistem, nozulların takılmış olduğu soğutucu plakalar, hava+su bağlantıları, çelik konstrüksiyondan imal edilen yapının son hali görülmektedir.



Şekil 3. 8. HS-KT ısıtım sistemi.

3.4. HS-KT ISIL İŞLEMİNİN UYGULAMA ADIMLARI

HS-KT ısıtım sisteminin kurulumundan sonra, ağırlığı 6700 gr, boyu 302 mm olan ve S355J2 kalite Alt Oturma parçalarına hızlandırılmış soğutma işlemi esnasında sıcaklık dağılım kontrolünün yapılabilmesi için parçalara delikler açılıp termokupllar takılmıştır. Termokuplların takılmış olduğu Alt Oturma parçası Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3. 9. Termokuplları takılmış olan Alt Oturma parçası.

Şekil 3.10'da 16 kanallı ADAM sistemi gösterilmektedir. Bu sistem ve yazılımı sayesinde, 1500°C sıcaklık ölçülebilen K tipi termokupl teller polimer esaslı yapıştırıcılarla belirtilen noktalara tutturularak sıcaklık kayıtları her bir saniye için alınmıştır.



Şekil 3. 10. ADAM sistemi.

HS-KT ısıl işlemleri uygulanabilmesi için, delikleri delinerek termoculpları takılan Alt Oturma parçaları Şekil 3.11’de verilen Telmika model 290x290x450 mm³ hacime sahip, sıcaklık kontrol ünitesi ve optimum mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için sıcaklık dağılımının minimum olduğu bir kül fırınında östenitleme işlemi yapılmıştır. Östenitleme sıcaklığı 900°C seçilerek östenitleme süresi 1 inç kalınlık için 1 saat tavlama kuralı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Ayrıca östenitleme işlemi fırın atmosferinde N₂-5H₂ gaz karışımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 11. Kül fırını.

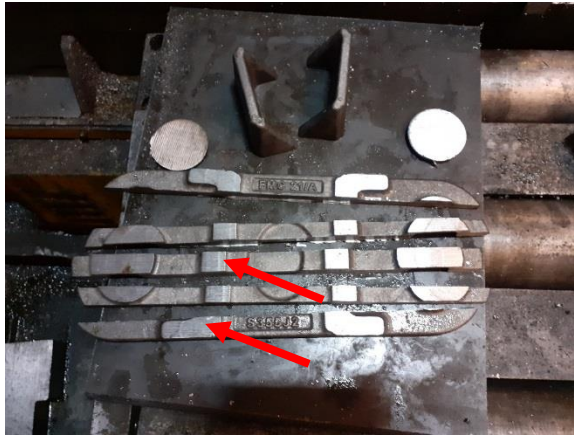
Bu çalışma kapsamında, Alt Oturma isimli S355J2 kalite demir yolu parçalarına 3 farklı deney parametresi uygulanmıştır. Bu deney parametreleri: Soğutma Süresi, Soğutma Plakası - Parça Arası Mesafe ve Hava Basıncı şeklindedir. Ayrıca, 10 sn. 20 sn. ve 30 sn. soğutma süresi, 1 kat yani 7 cm ve 2 kat yani 14 cm olacak şekilde 2 farklı soğutma plakası ve parça arasındaki mesafe, 4, 8, ve 12 bar hava basıncında HS-KT ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu verilere göre, soğutma süresi ve parça arasındaki mesafeyi 2 farklı, hava basıncını 3 farklı ve soğutma süresinde 3 farklı parametreler şeklinde HS-KT ısıl işlemine etkisi araştırılıp incelenmiştir. Çizelge 3.2’de bu işlem parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3. 2. HS-KT ısıt işlemleri parametreleri.

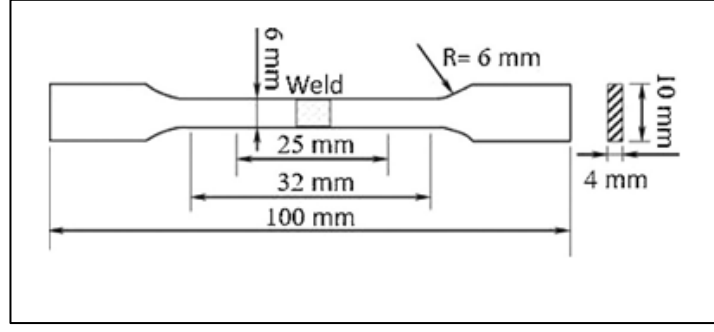
Parça	Fırın Sıcaklığı (°C)	Soğutma Süresi (sn.)	Soğutma Plakası - Parça Arası Mesafe (mm)	Hava Basıncı (Bar)
Alt Oturma	900	10	1 Kat 70 mm 2 Kat 140 mm	4
		20		8
		30		12

3.5. ÇEKME TESTİ

HS-KT ısıt işleminin uygulanmadığı ve uygulandığı parçalar FMC Hidrolik firmasında KESMAK marka şerit testere tezgahında kaba şekli ile kesilerek yine FMC Hidrolik firmasında belirlenen ölçülerde işlenmiştir. Çekme testi yapılabilmesi için Alt Oturma parçasının Şekil 3.12’de gösterilen kısımlarından numuneler alınmıştır. Şekil 3.13’de ise numunelerin işleme ölçüleri verilmiştir. Parçalardan ISO 6892 standardına göre 3’er adet kesilmiştir. Çekme testi Şekil 3.14’de verilen Karabük Üniversitesi Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarında bulunan Hidrolik Ünlversal 300 Ton kapasiteli cihazda oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 3. 12. Çekme testi için numune alınan kısımların gösterimi.



Şekil 3. 13. Çekme testi numunelerinin işleme ölçüleri.

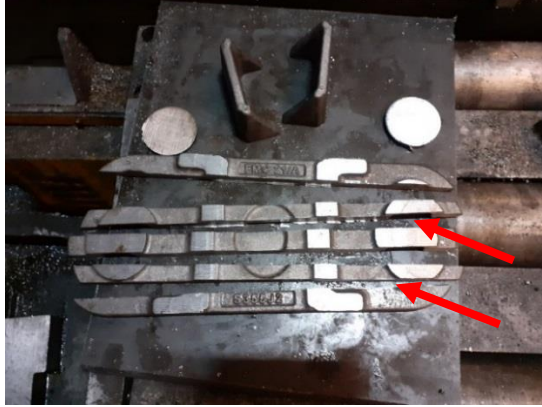


Şekil 3. 14. Çekme testi cihazı.

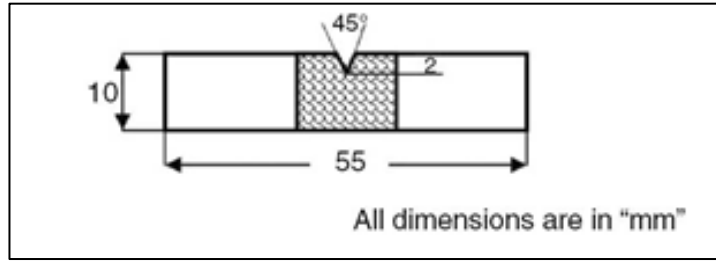
3.6. DARBE ÇENTİK TESTİ

HS-KT ısıtılmasının uygulanmadığı ve uygulandığı parçalar FMC Hidrolik firmasında KESMAK marka şerit testere tezgahında kaba şekli ile kesilerek yine FMC Hidrolik firmasında belirlenen ölçülerde işlenmiştir. Darbe çentik testi yapılabilmesi için Alt Oturma parçasının Şekil 3.15’de gösterilen kısımlarından numuneler alınmıştır. Şekil 3.16’da numunelerin işleme ölçüleri verilmiştir. Darbe çentik testi, Şekil 3.17’de verilen Karabük Üniversitesi MARGEM laboratuvarında bulunan ZWICK/ROELL Rkp450 marka 450 Joule’lük darbe enerjisi uygulama kapasitesine sahip motorize sarkaç tipi bir dinamik test cihazında ISO 148-3 standardına göre merkez bölgeleri işaretlenen numunelere V çentik açılarak oda sıcaklığında ve

-20°C’de test yapılacağı için 3’er adet olmak üzere toplamda her bir parçadan 6 adet numune kesilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 15. Darbe çentik testi için numune alınan kısımların gösterimi.



Şekil 3. 16. Darbe çentik testi numunelerinin işleme ölçüleri.

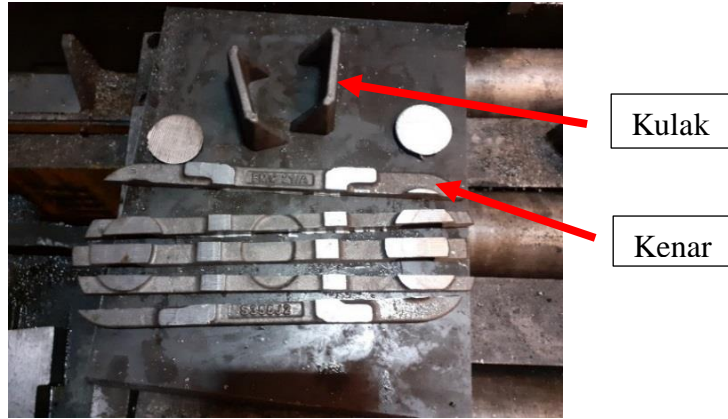


Şekil 3. 17. Darbe çentik testi cihazı.

3.7. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

3.7.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

HS-KT ısıtıl işleminin uygulanmadığı ve uygulandığı parçalar FMC Hidrolik firmasında KESMAK marka şerit testere tezgahında kaba şekli ile kesilerek yine FMC Hidrolik firmasında METKON marka Servocut 302 model abrasiv kesici ile kesilmiştir. Şekil 3.18’de gösterilen kulak ve kenar kısımlarından numuneler alınmıştır. Numuneler zımparlanıp parlatıldıktan sonra %3 Nital çözeltisi ile 3 sn. dağlanmıştır. Tüm numuneler zımparalama ve dağlama işlemlerinden sonra Şekil 3.19’da verilen Karabük Üniversitesi MARGEM laboratuvarında bulunan NIKON marka mikroskopta incelenmiştir.



Şekil 3. 18. Mikroyapı çalışmaları için numune alınan kısımların gösterimi.



Şekil 3. 19. Optik mikroskop cihazı.

3.7.2. SEM İncelemeleri

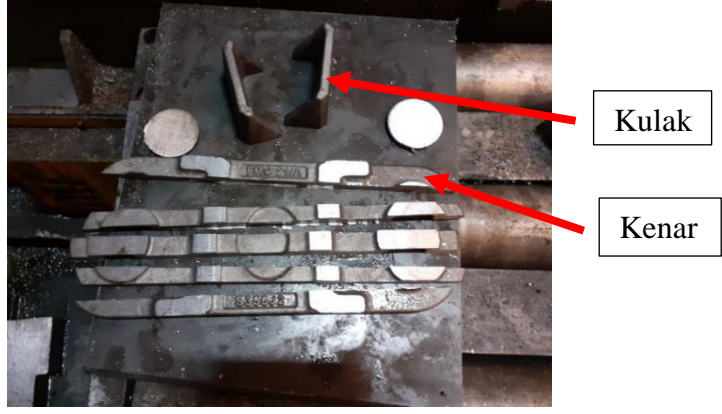
SEM incelemeleri Şekil 3.20’de verilen CARL-ZEISS Ultra Plus cihazı ile gerçekleştirilip, HS-KT ısıl işleminin uygulandığı parçalardan alınan numuneler incelenerek SEM Mikroyapısı alınmıştır.



Şekil 3. 20. SEM cihazı.

3.8. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

HS-KT ısıl işleminin uygulanan tüm parçalar kulak ve kenar bölgelerinden FMC Hidrolik firmasında KESMAK marka şerit testere tezgahında kaba şekli ile kesilerek yine FMC Hidrolik firmasında METKON marka Servocut 302 model abrasiv kesici ile kesilmiştir. Şekil 3.21’de gösterilen kulak ve kenar kısımlarından numuneler alınmıştır. Sertlik değerleri, Şekil 3.22’de verilen OPTOBUL marka cihazda Brinell cinsinden ve standarda uygun olarak 750 gr yük altında, 10 sn. süre ile ve 5 mm’lik bilye ile ölçülmüştür. Alt Oturma parçalarının kulak ve kenar kısımlarından ayrı ayrı 3’er adet sertlik değerleri ölçülerek bu ölçümlerin ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 3. 21. Sertlik ölçümü için numune alınan kısımların gösterimi.



Şekil 3. 22. Sertlik cihazı.

BÖLÜM 4

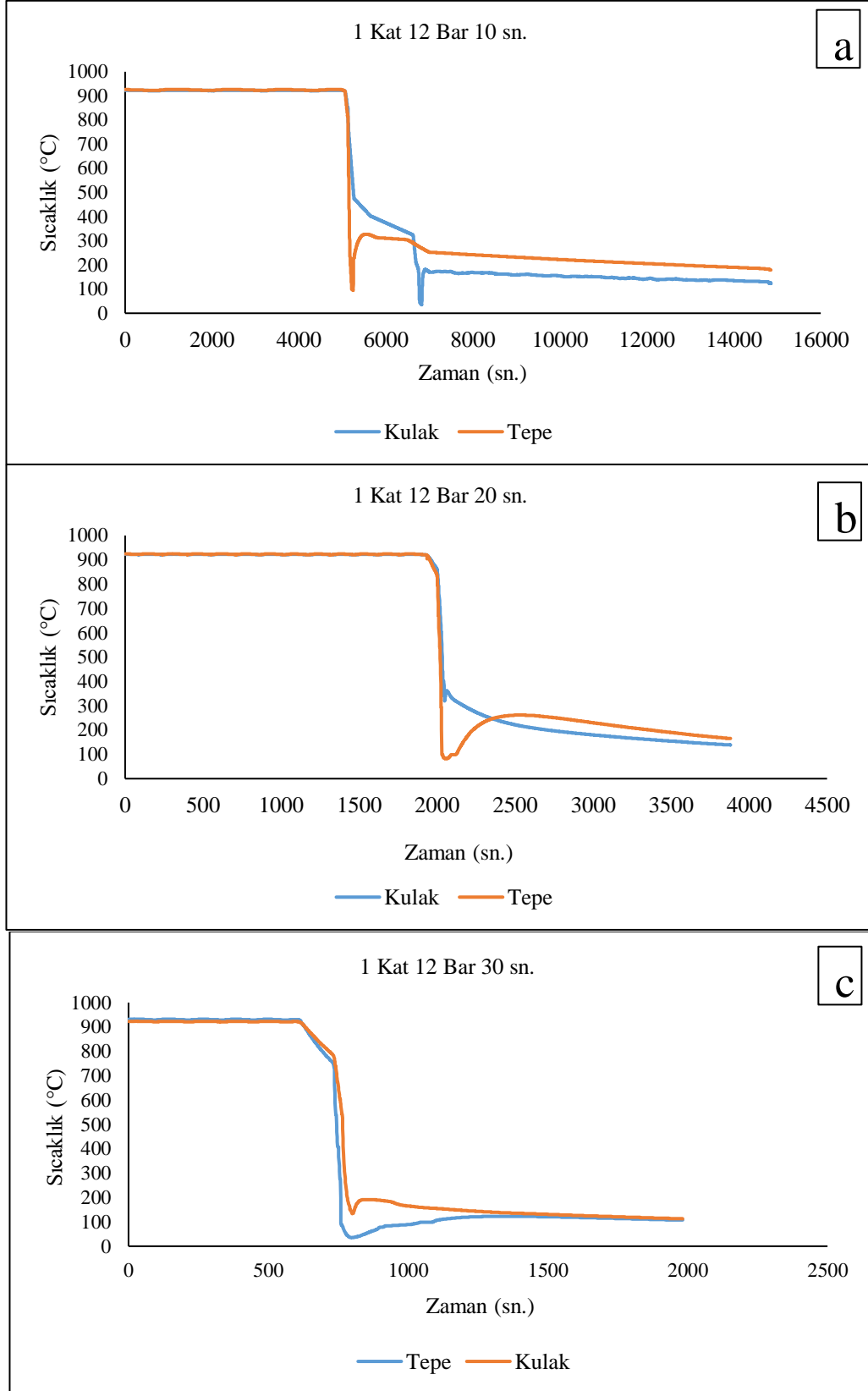
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. SOĞUMA HIZI

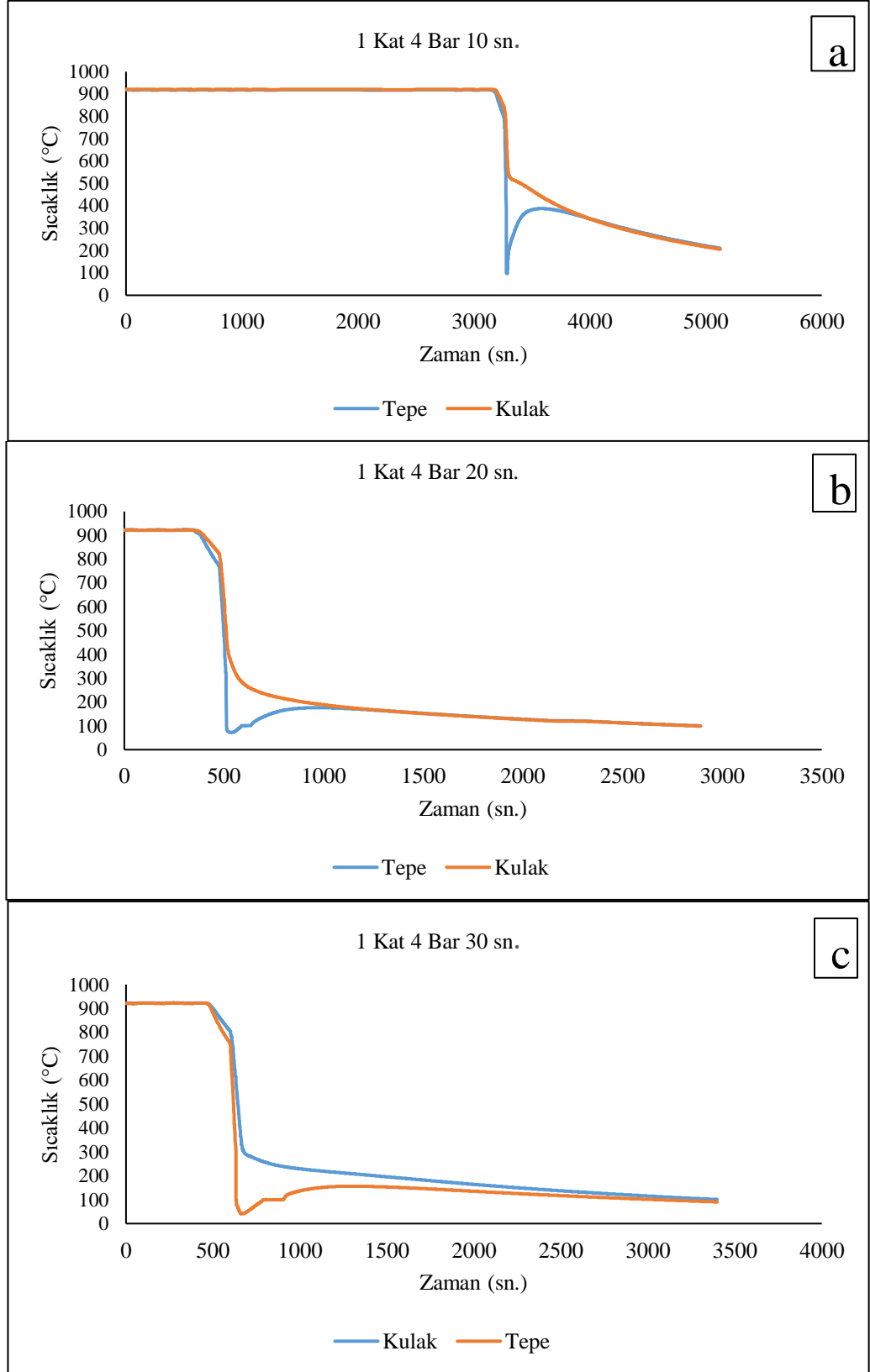
Şekil 4.1- 4.4’de HS-KT ısıtıl işleminin farklı parametrelerde uygulandığı Alt Oturma parçalarının çok sayıda olmasından dolayı zamana göre tepe ve kulak bölgelerine ait soğuma grafiklerinin bir bölümüne yer verilmiştir.

Şekil 4.2’de verilen en yüksek soğuma hızı $76,31^{\circ}\text{C/sn}$ olarak elde edilen tepe bölgesinde soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat yani 7 cm, hava basıncının 4 bar ve soğutma süresinin 10 sn olduğu HS-KT ısıtıl işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının soğuma grafiği incelendiğinde, östenitleme sıcaklığı olan 900°C ’den hızlı bir şekilde düştüğü gözlenmektedir. Sonrasında sıcaklık değerleri yükselmeye başlamıştır. Bunun sebebi, hızlandırılmış su vermenin etkisi ile parçanın ilk olarak yüzey kısımlarında gerçekleşen hızlı soğuma sonrasında parçanın çekirdek kısmındaki sıcaklığın etki etmesi ile sıcaklık değerleri yükselmeye başlamaktadır. Böylelikle parçalarda hızlandırılmış su verme işlemi sonrasında kendi kendini temperleme işlemi meydana gelmektedir.

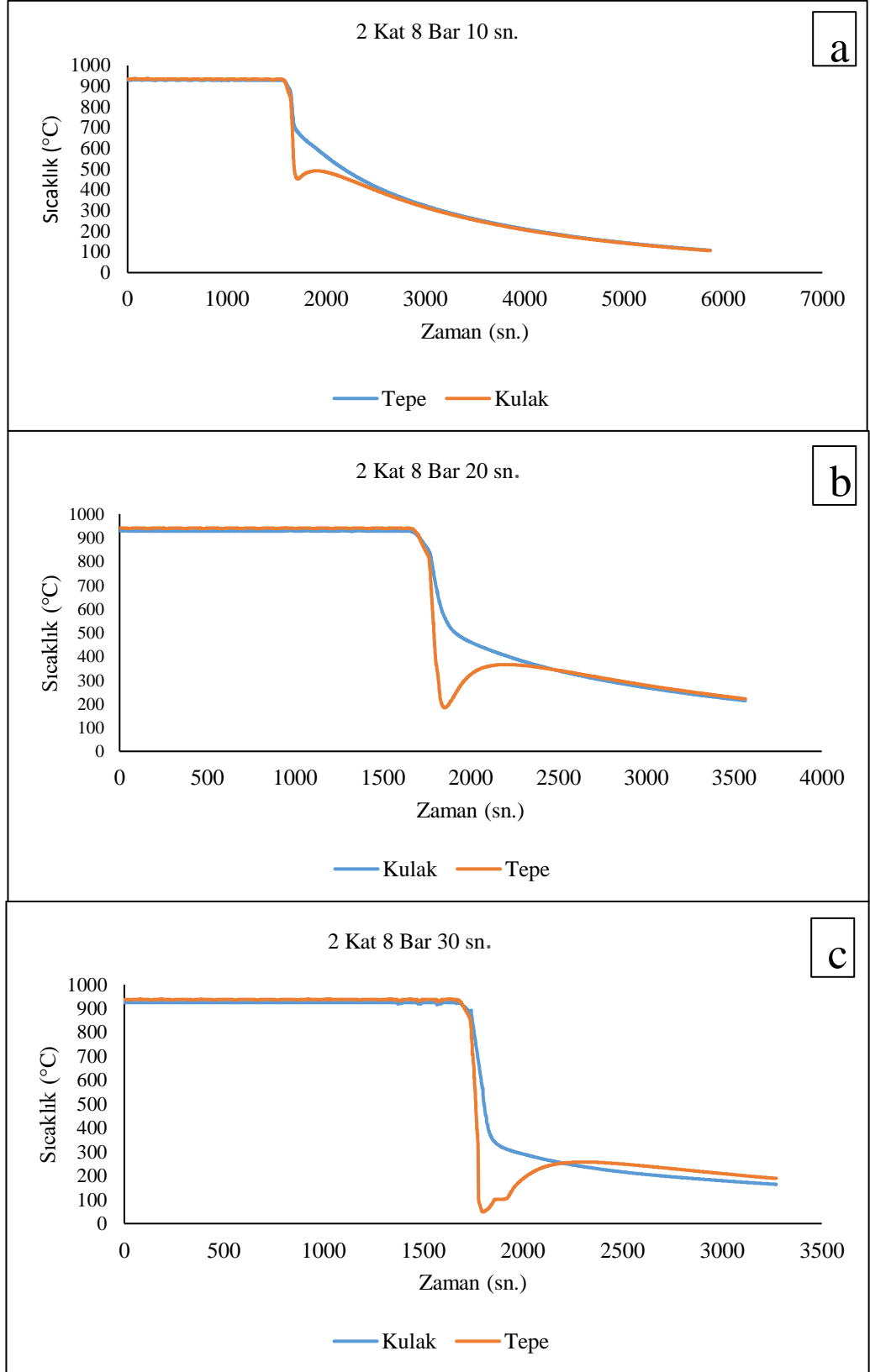
Aynı parçanın kulak bölgesi incelendiğinde ise tepe bölgesine kıyasla soğumanın daha yavaş fakat HS-KT işleminin bu bölgede de gerçekleştiği görülmektedir.



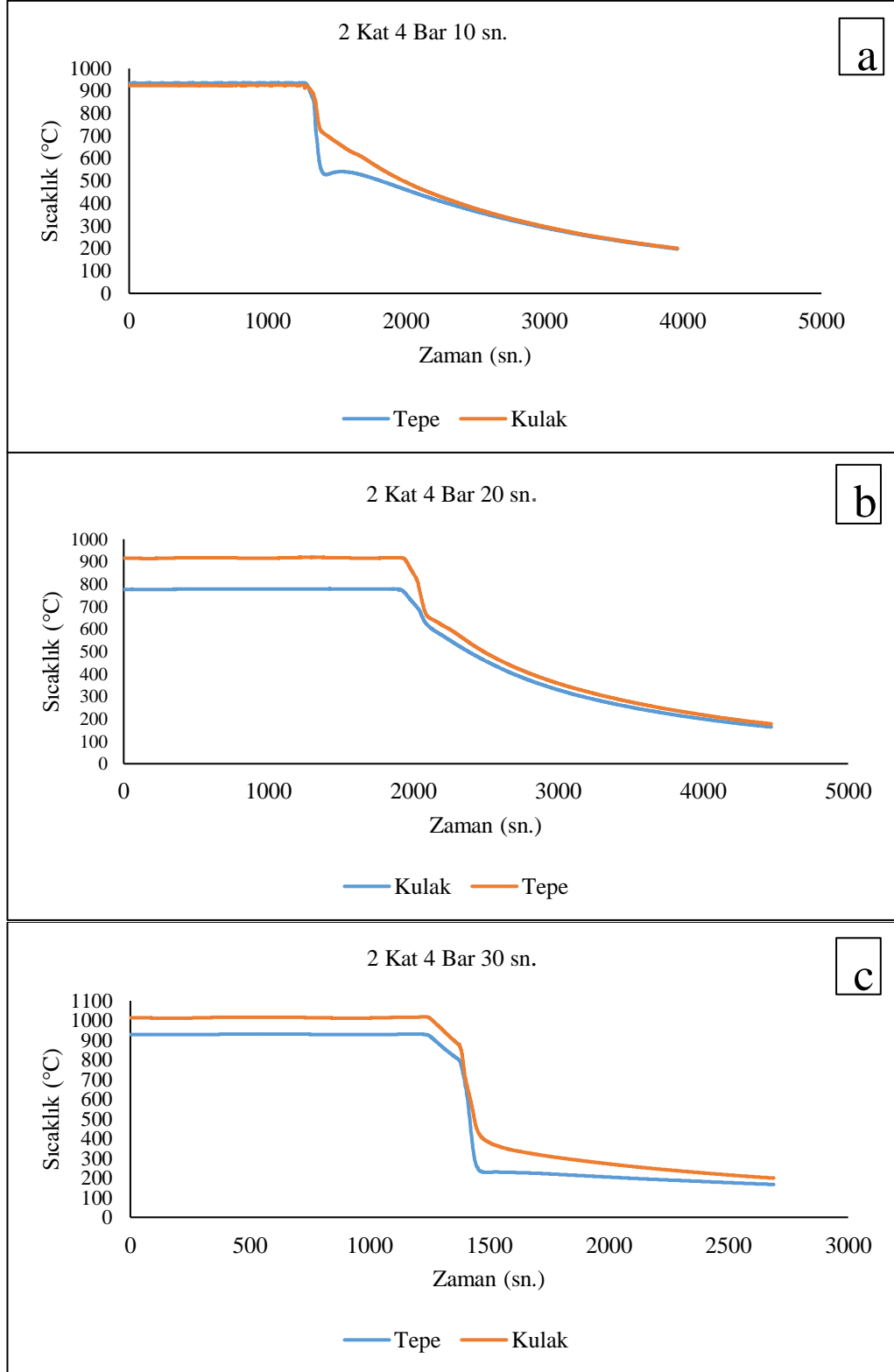
Şekil 4. 1. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 12 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.



Şekil 4. 2. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 4 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.



Şekil 4. 3. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 8 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.



Şekil 4. 4. Alt Oturma parçasının soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 4 bar hava basıncında, a)10, b)20 ve c)30 saniyede ki soğutma grafikleri.

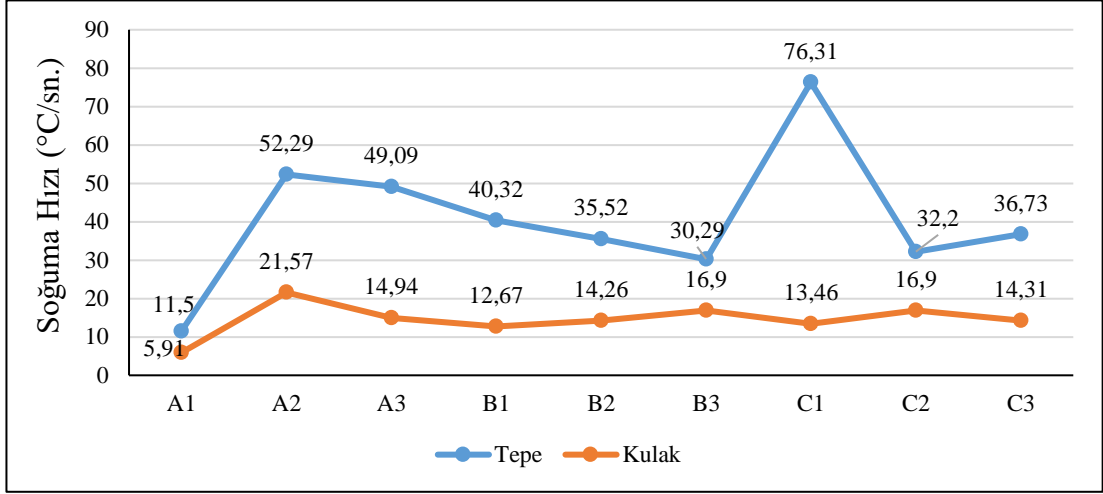
Alt oturma parçalarının farklı parametrelere ait soğuma hızları HS-KT ısıtma işlemi sırasında elde edilen soğuma eğrilerinin eğimleri alınarak °C/sn olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.1’de alt oturma parçalarının tepe ve kulak bölgelerine ait soğuma hızları verilmiştir. Parçalara ait HS-KT ısıtma işlem parametrelerinin kolay anlaşılabilmesi için her malzemeye ait farklı kodlamalar yapılmıştır.

Çizelge 4. 1. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki tepe ve kulak bölgelerine ait soğuma hızları.

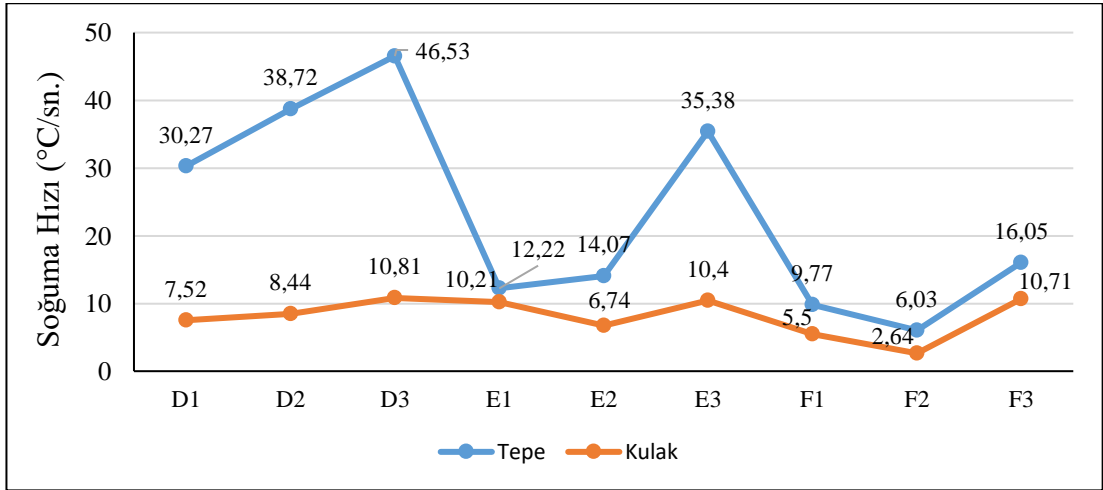
Malzeme Kodu	Alt Oturma HS-KT Parametreleri	Tepe	Kulak
A1	1 Kat 12 Bar 10 sn.	11,5	5,91
A2	1 Kat 12 Bar 20 sn.	52,29	21,57
A3	1 Kat 12 Bar 30 sn.	49,09	14,94
B1	1 Kat 8 Bar 10 sn.	40,32	12,67
B2	1 Kat 8 Bar 20 sn.	35,52	14,26
B3	1 Kat 8 Bar 30 sn.	30,29	16,9
C1	1 Kat 4 Bar 10 sn.	76,31	13,46
C2	1 Kat 4 Bar 20 sn.	32,2	16,9
C3	1 Kat 4 Bar 30 sn.	36,73	14,31
D1	2 Kat 12 Bar 10 sn.	30,27	7,52
D2	2 Kat 12 Bar 20 sn.	38,72	8,44
D3	2 Kat 12 Bar 30 sn.	46,53	10,81
E1	2 Kat 8 Bar 10 sn.	7,2	10,21
E2	2 Kat 8 Bar 20 sn.	14,07	6,74
E3	2 Kat 8 Bar 30 sn.	35,38	10,4
F1	2 Kat 4 Bar 10 sn.	9,77	5,5
F2	2 Kat 4 Bar 20 sn.	6,03	2,64
F3	2 Kat 4 Bar 30 sn.	16,05	10,71

Çizelge 4.1’den elde edilen sonuçlara göre, Alt Oturma parçalarının tepe ve kulak bölgelerindeki soğuma hızlarını incelediğimizde kulak bölgelerindeki soğuma hızı tepe bölgesine kıyasla daha düşüktür. Bunun sebebi, parçanın kulak bölgesinin daha kalın kesitli olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.5’de verilen grafiklerde tepe ve

kulak bölgelerindeki soğuma hızları kıyaslanmasına kolaylık olması için gösterilmektedir.



(a)



(b)

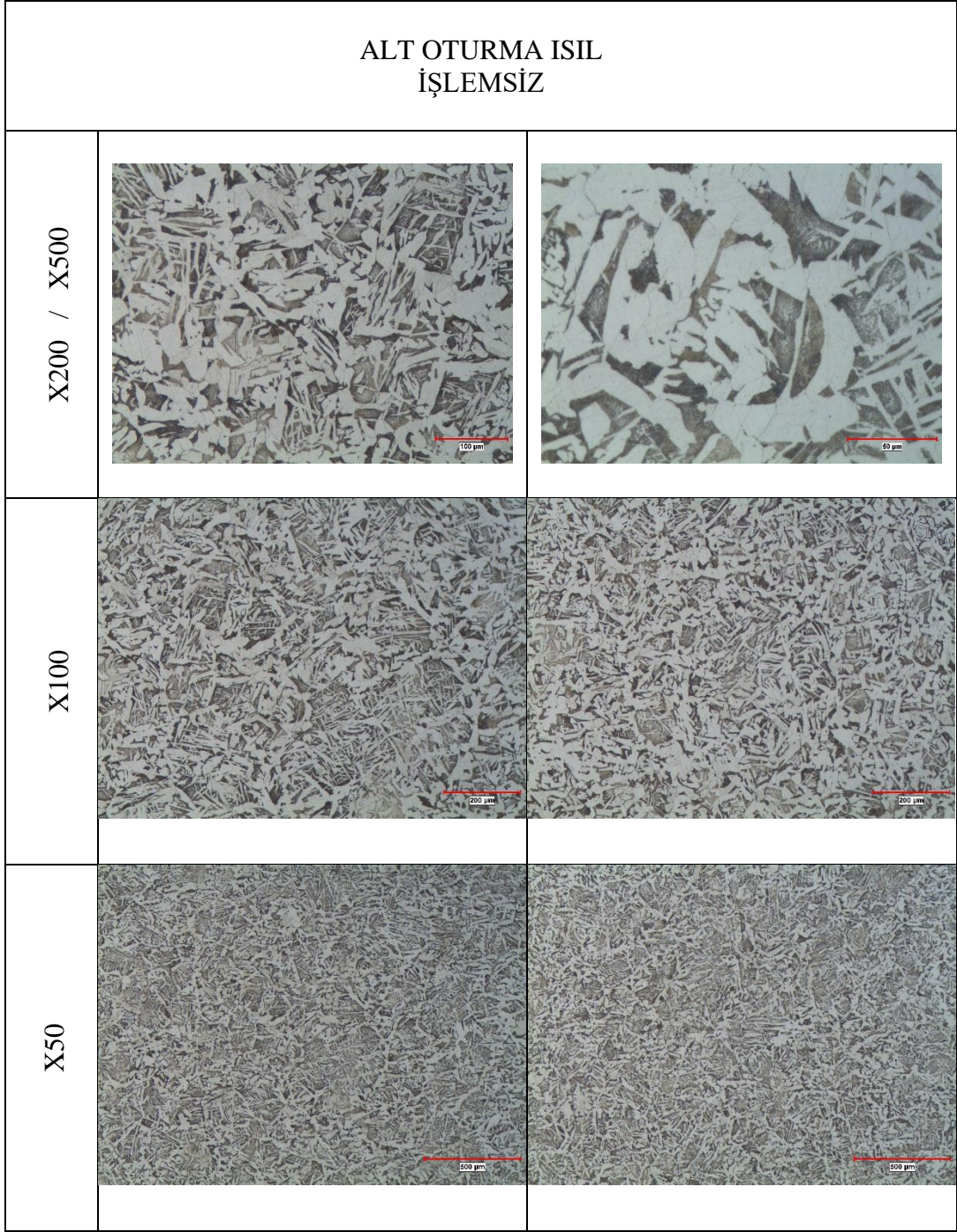
Şekil 4. 5. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısı işlemi uygulaması sonrası tepe ve kulak bölgelerine ait a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki soğuma hızları grafiği.

4.2. MİKROYAPI

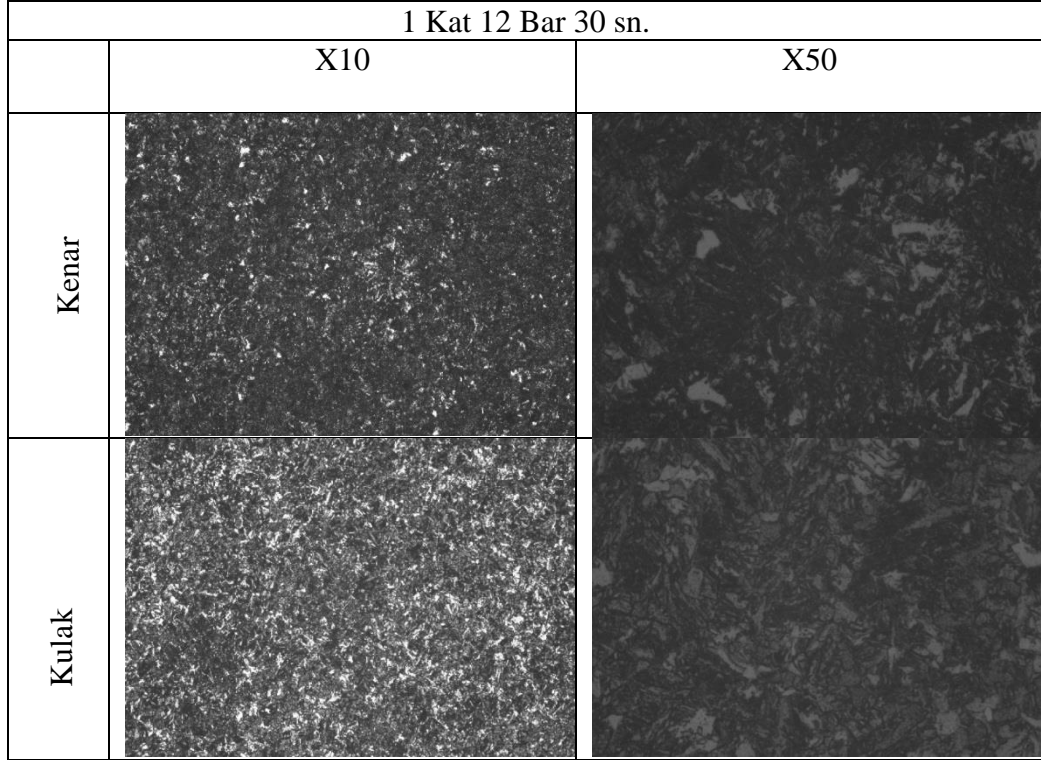
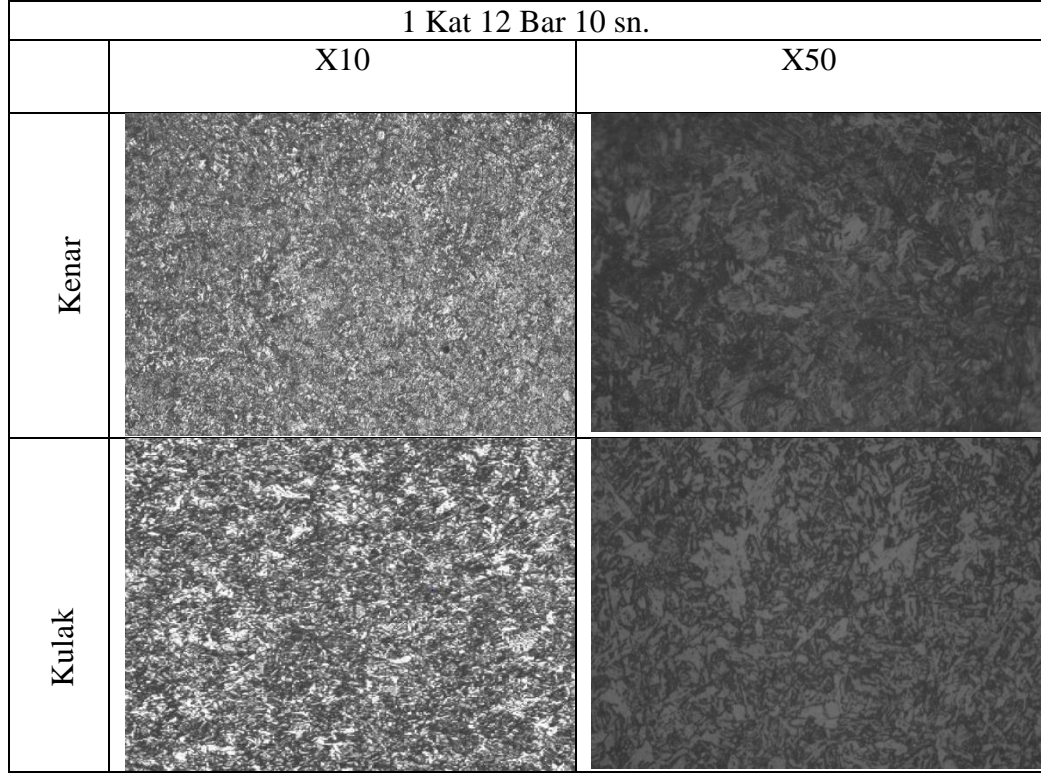
HS-KT ısıtıl işleminin uygulanmadığı ve uygulandığı Alt Oturma parçalarının kenar ve kulak bölgelerinden alınan numuneler mikroyapı görüntüleri Şekil 4.6- 4.12’de gösterilmiştir. HS-KT ısıtıl işleminin farklı parametrelerde uygulandığı parçaların çok sayıda olmasından dolayı mikroyapı görüntülerinin bir bölümüne yer verilmiştir.

HS-KT ısıtıl işleminin uygulanmayan parçaların mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Ferrit + Perlit fazları oluştuğu tespit edilmiştir. HS-KT uygulanan parçalarda ise yüksek soğuma hızlarına sahip olan bölgelerde Ferrit + Perlit fazlarının iğnemesi (asiküler) / poligonal ve ince lamellere dönüştüğü gözlenmiştir. Düşük soğuma hızlarına sahip bölgelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde granüel ve/veya lamelli ve/veya poligonal yapılar oluşmaktadır. Bunun yanında düşük karbonlu çeliklerin yeteri kadar sertleşebilmesi ancak yapıdaki östenit fazının hızlandırılmış su verme gibi işlemler sonrasında martenzite dönüşmesi ile elde edilebilir. Ayrıca, karbonca aşırı zengin martenzitten karbonun difüzyonu ile ince uzun sementitten meydana gelen beynit, iğnemesi ferrit ve sorbit yapılarının oluşumu hızlandırılmış soğutma işlemi sonrasında kendiliğinden temperleme işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir [49, 50].

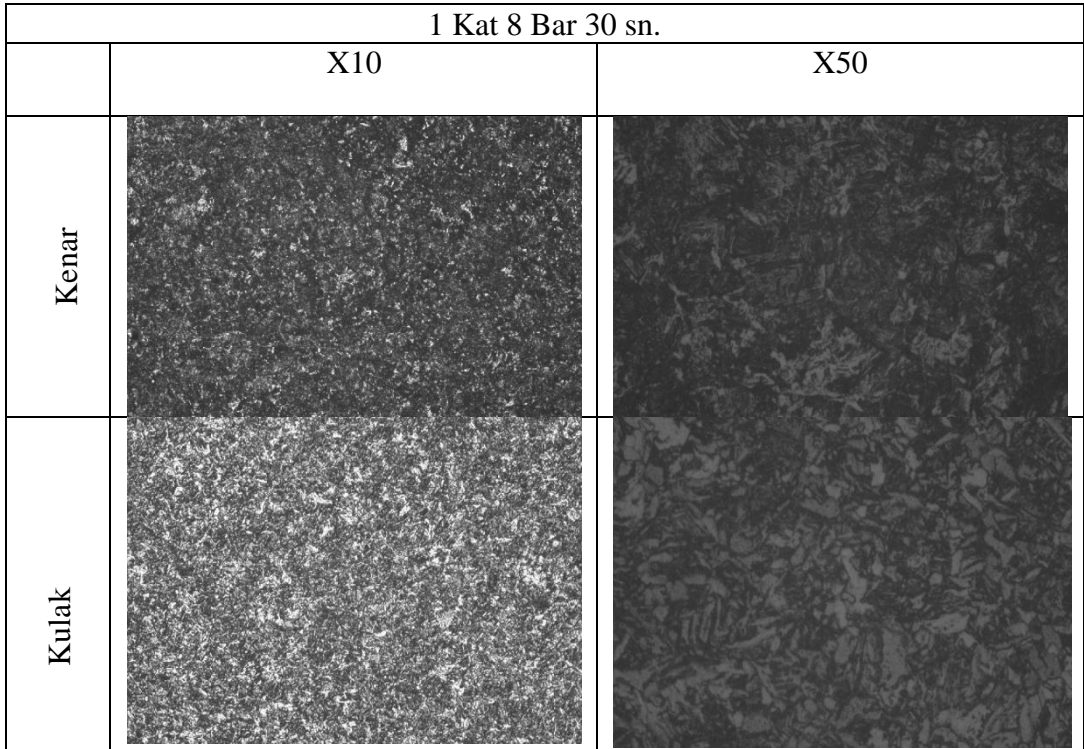
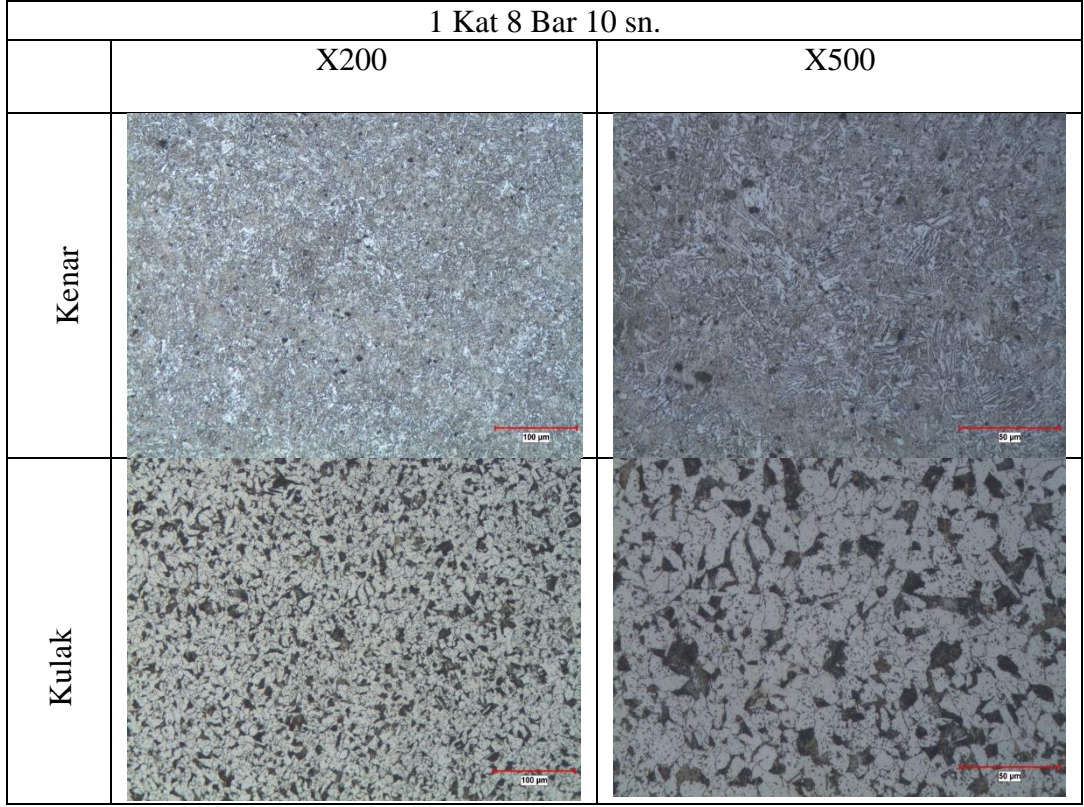
Genellikle çeliklerde oluşan çeşitli fazların optik mikroskoplarla tespit edilebilmesi oldukça zor olabilir. Bunun için, HS-KT ısıtıl işleminin uygulanan parçalardaki diğer fazların özellikleri ayrıntılı incelenmek istendiğinde SEM görüntüleri alınır. Bu tez çalışmasında ayrıntılı faz özelliklerini inceleyebilmek adına SEM görüntüleri de alınmıştır.



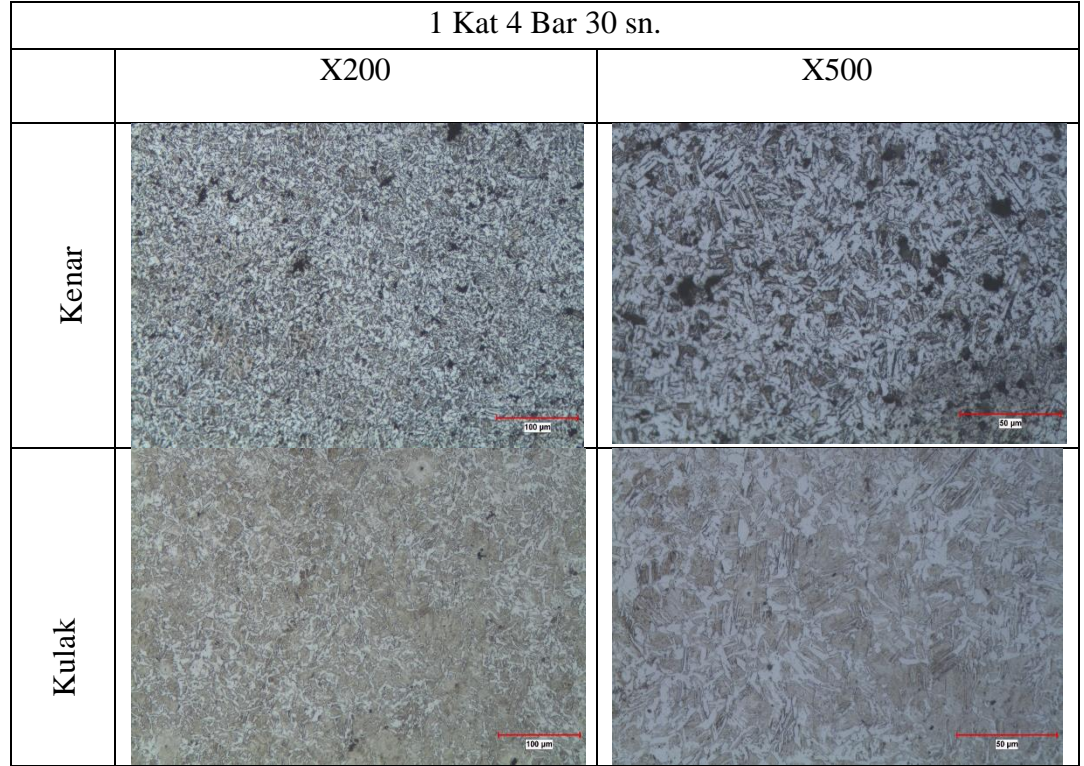
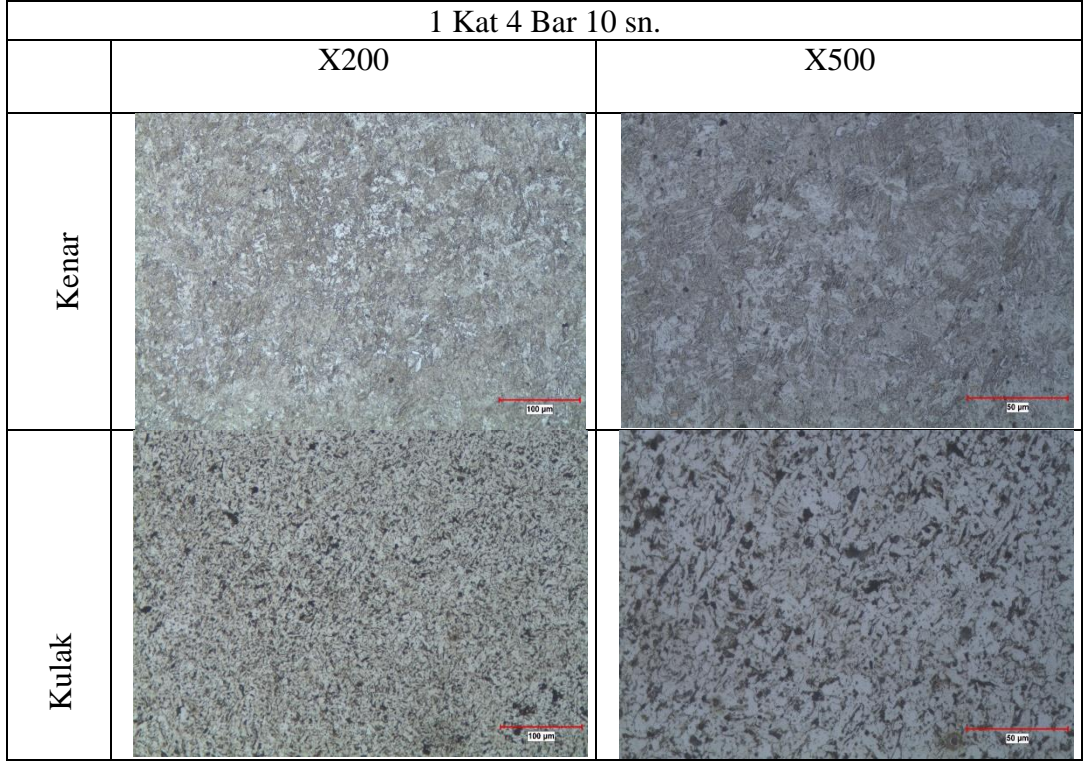
Şekil 4. 6. HS-KT ısı işleme uygulanmayan Alt Oturma parçasının X500, X200, X100 ve X50 büyütmelemlerde ki mikroyapı görüntüleri.



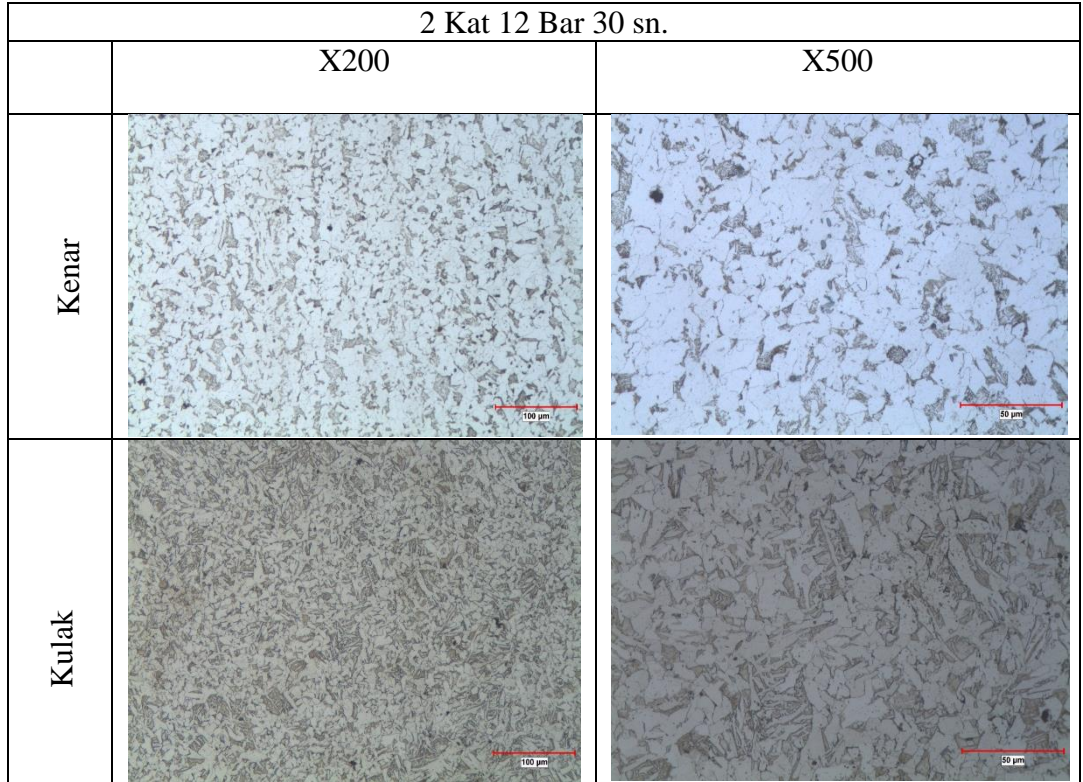
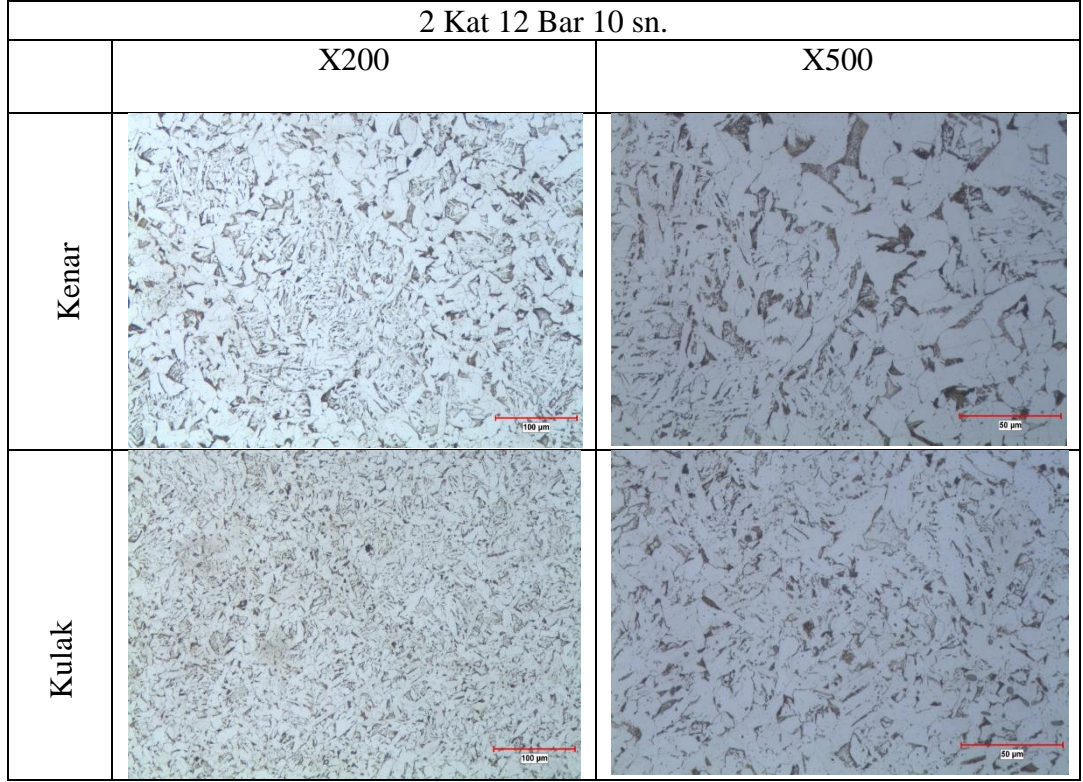
Şekil 4. 7. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 12 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X10 ve X50 büyütme görüntülerindeki mikroyapı görüntüleri.



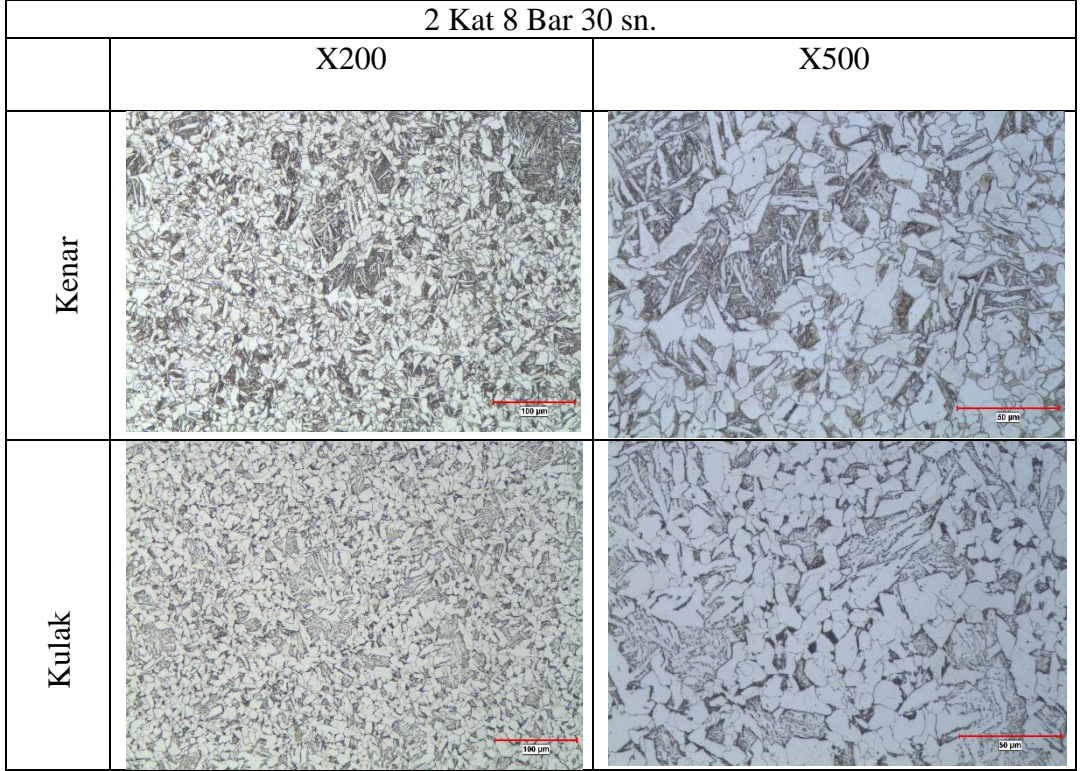
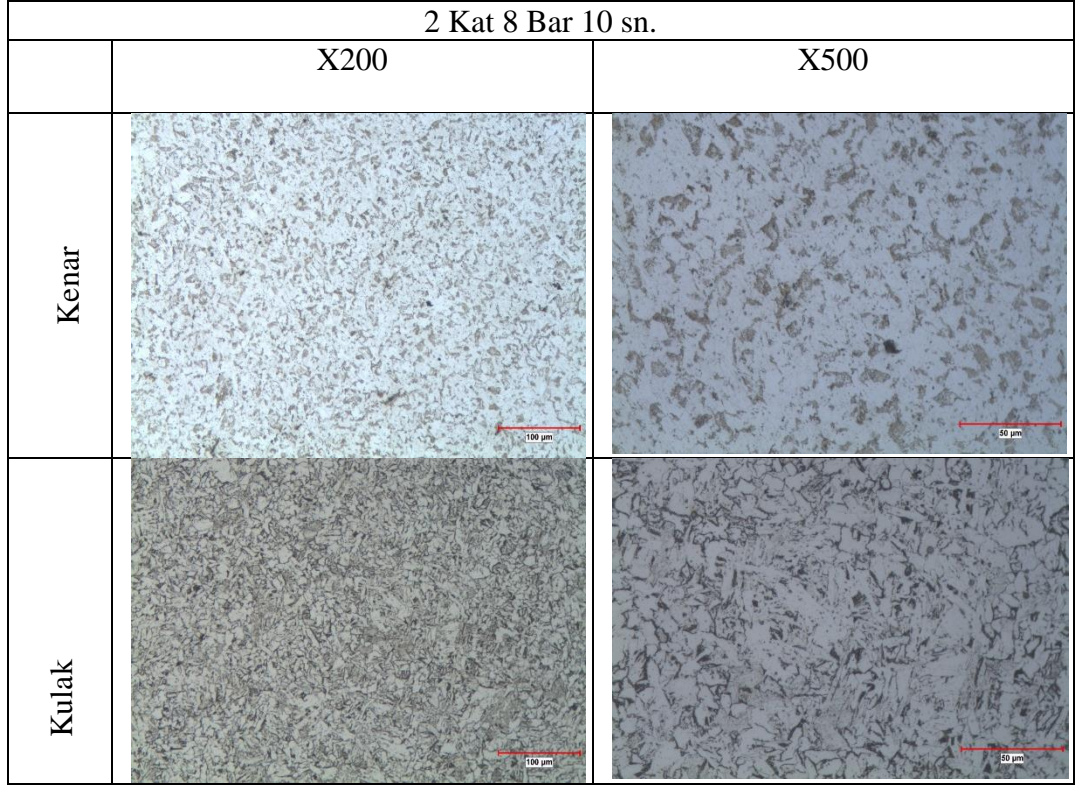
Şekil 4. 8. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 8 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıl işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X10,X50 – X200,X500 büyütmelerdeki mikroyapı görüntüleri.



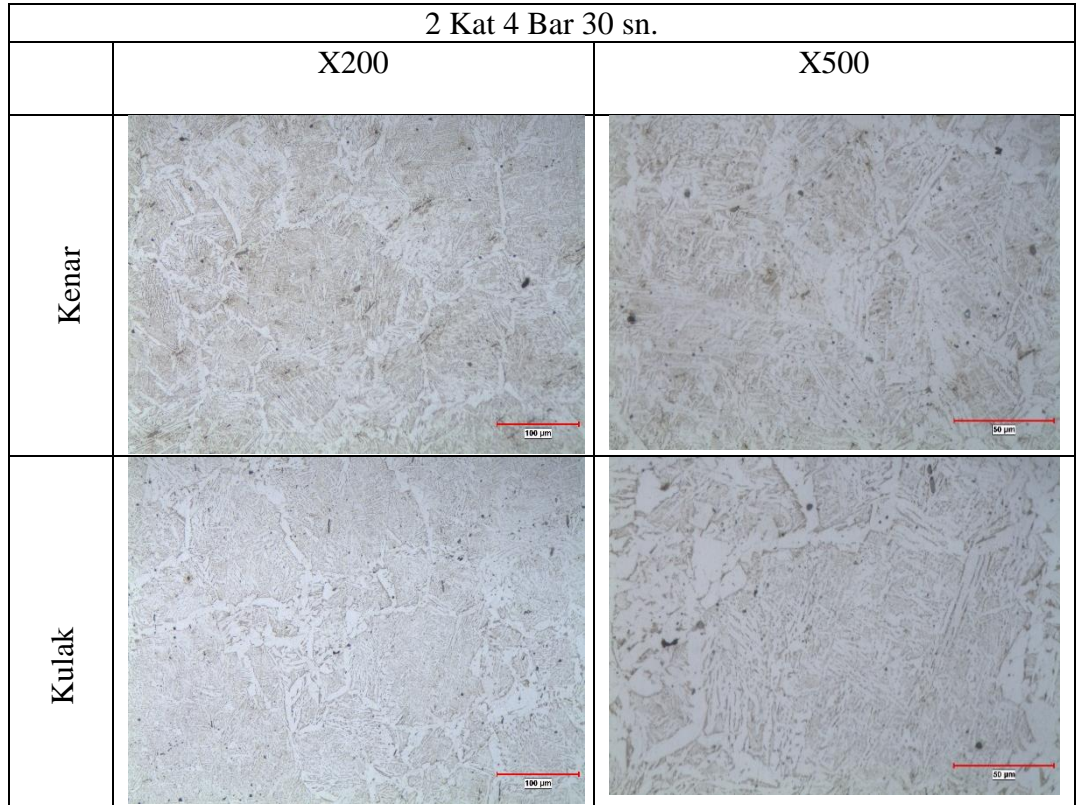
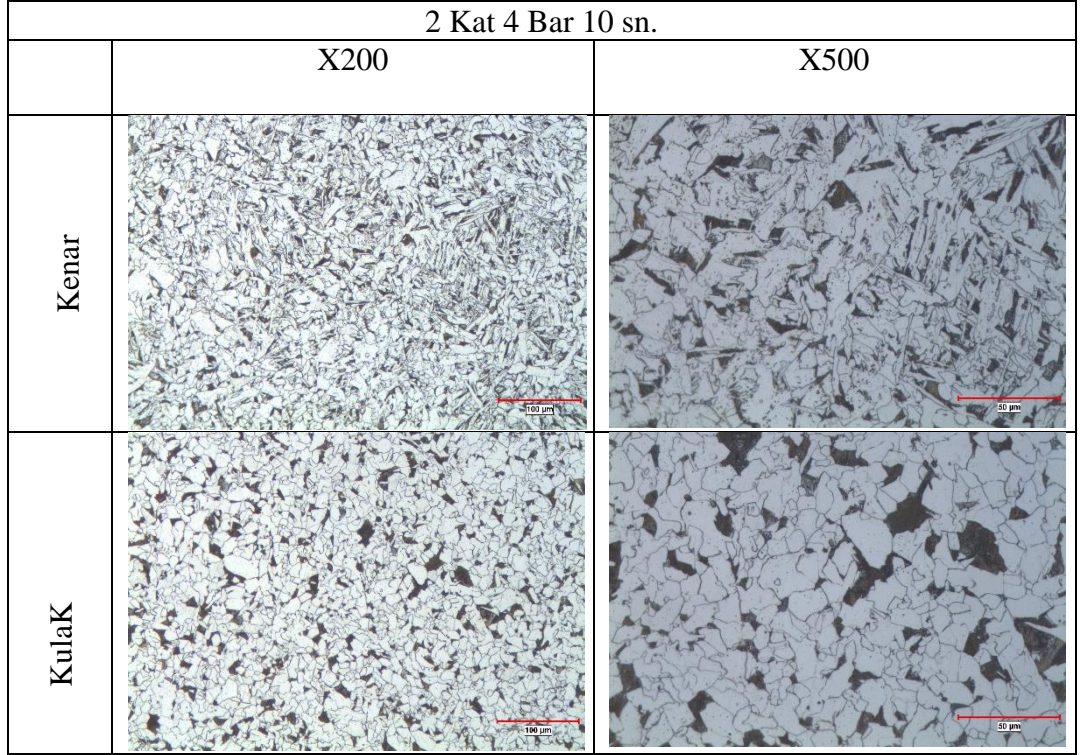
Şekil 4. 9. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 4 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıl işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütmelerdeki mikroyapı görüntüleri.



Şekil 4. 10. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 12 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütme görüntüleri.



Şekil 4. 11. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 8 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıl işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütme görüntülerindeki mikroyapı görüntüleri.



Şekil 4. 12. Soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 4 bar hava basıncında, 10 ve 30 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinden alınan X200 ve X500 büyütme görüntüleri.

4.3. SEM GÖRÜNTÜLERİ

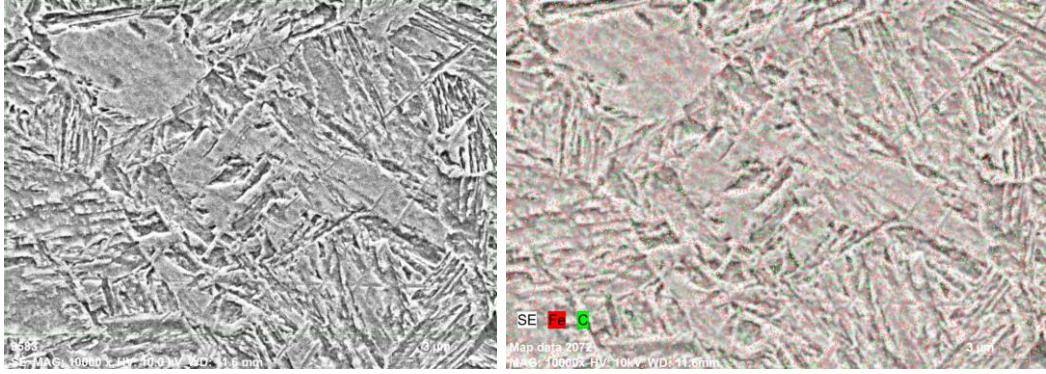
Şekil 4.13- 4.16'da HS-KT ısıtılmasının farklı parametrelerde uygulandığı Alt Oturma parçalarının çok sayıda olmasından dolayı parçaların bir bölümünün SEM görüntülerine yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, HS-KT ısıtılma işlemi sonrasında ve yapılan literatür çalışmaları ışığında, malzemenin soğuma hızına bağlı olarak yapının asiküler ferrit ve/veya poligonal ferrit sonrasında üst beynit ve/veya sorbit yapısına daha sonra ise alt beynit ve/veya martenzit fazlarının oluştuğu görülmüştür. Bu konu hakkında bazı literatür çalışmaları aşağıda yer almaktadır.

Farklı soğuma hızlarında testler yapılarak soğuma hızının basınçlı kap çeliği üzerinde mikroyapısal değişiklikler incelenmiştir. Soğuma hızının $0,15^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ ile $0,3^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ aralığındaki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, yapıda beynit ve ferrit fazlarının oluştuğu görülmüştür. Soğuma hızının $1-2^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ aralığında malzemenin mikroyapısının sadece beynitten meydana geldiği ve soğuma hızı $5-15^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ aralığına ulaştığında ise yapıda beynit ve martenzit fazlarının birlikte oluştuğu gözlemlenmiştir. $20^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ soğuma hızının üzerinde ise yapının tamamen martenzit fazına dönüşümü görülmüştür. Ayrıca soğuma hızı ile tane boyutu dağılımının arasında bir ilişki olabileceği de öne sürülmüştür [51].

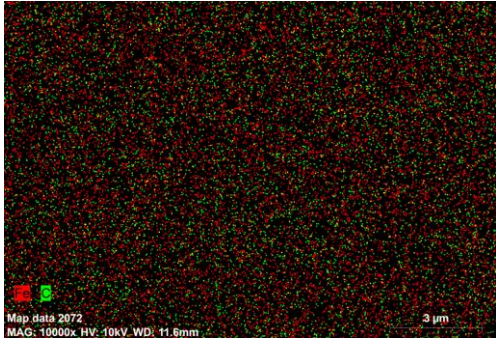
Mikro alaşımlı bir dövme çeliğinin dövüldükten sonraki soğuma hızının malzemenin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dövme işlemi 925°C ve 1150°C 'de yapıldıktan sonra havada soğutulmuştur. Malzeme dövüldükten sonra mikroyapısı ferrit+perlit yapıdayken, soğuma hızının artmasıyla birlikte mikroyapının iğnemsiz ferrit, beynit veya martenzite dönüştüğü gözlemlenmiştir. Dövme işleminin 1150°C 'de yapılan malzemeler incelendiğinde soğuma hızının $3^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ olduğunda yapı iğnemsiz ferrit, soğuma hızının $3^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ 'den $15^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ 'ye yükseltilmesiyle ise hem sünekliği azaltan hem de mukavemeti arttıran beynit ve martenzit yapılarının oluştuğu görülmüştür [52].

Şekil 4.13’de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 4 bar hava basıncında, 10 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulandığı Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri verilmiştir. 1 kat 4 bar 10 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçanın soğuma hızı tepe bölgesinde 76,31°C/sn. kulak bölgesinde ise 13,46°C/sn.’dir. Tepe bölgesindeki soğuma hızı ayrıca tüm HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçalardan alınan sonuçlara göre en yüksek soğuma hızıdır.



(a)

(b)



(c)

Mass percent (%)		
Spectrum	C	Fe
1	6.32	93.68
2	7.76	92.24
3	6.65	93.35

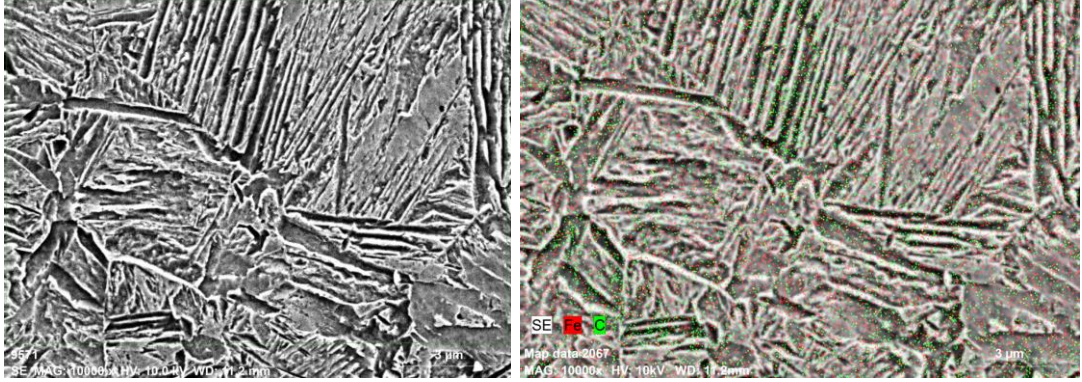
Mean value:	6.91	93.09
Sigma:	0.75	0.75
Sigma mean:	0.44	0.44

(d)

Şekil 4. 13. 1 kat (7 cm) 4 bar 10 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.

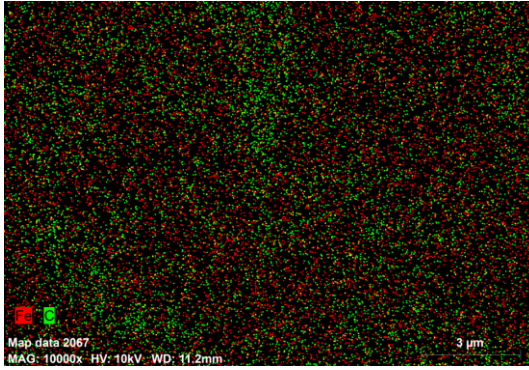
- 10 kx büyütmedeki görüntü.
- 10 kx büyütmedeki görüntünün temel harita analizi.
- Fe (kırmızı renk) ve C (yeşil renk) için harita veri analiz sonuçları.
- Harita veri analiz sonuçlarındaki Fe ve C için % oranları.

Şekil 4.14’de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 12 bar hava basıncında, 10 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulandığı Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri verilmiştir. 1 kat 12 bar 10 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçanın soğuma hızı tepe bölgesinde 11,50°C/sn. kulak bölgesinde ise 5,91°C/sn.’dir.



(a)

(b)



(c)

Mass percent (%)

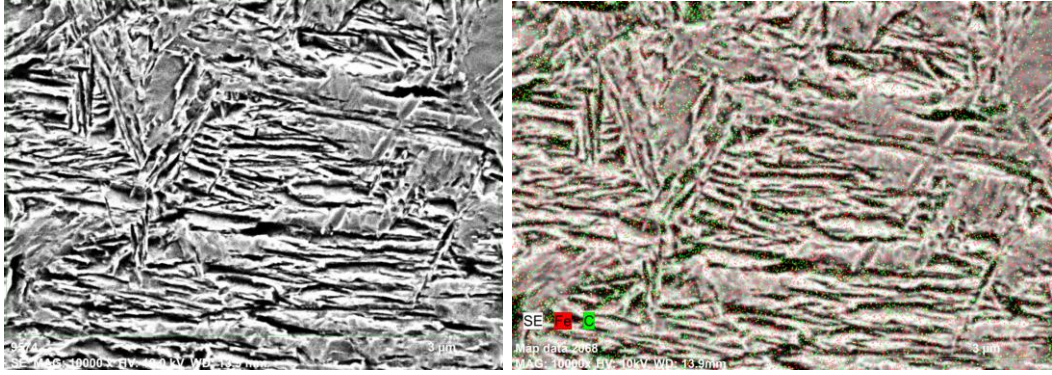
Spectrum	C	Fe
1	21.19	78.81
2	12.99	87.01
3	8.69	91.31
Mean value:	14.29	85.71
Sigma:	6.35	6.35
Sigma mean:	3.67	3.67

(d)

Şekil 4. 14. 1 kat (7 cm) 12 bar 10 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.

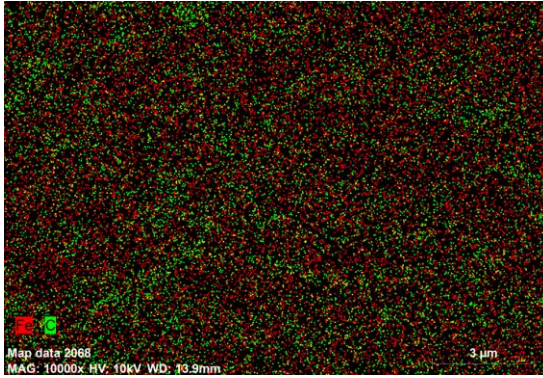
- 10 kx büyütmedeki görüntü.
- 10 kx büyütmedeki görüntünün temek harita analizi.
- Fe (kırmızı renk) ve C (yeşil renk) için harita veri analiz sonuçları.
- Harita veri analiz sonuçlarındaki Fe ve C için % oranları.

Şekil 4.15’de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat (7 cm), 12 bar hava basıncında, 30 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulandığı Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri verilmiştir. 1 kat 12 bar 30 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçanın soğuma hızı tepe bölgesinde 49,09°C/sn. kulak bölgesinde ise 14,94°C/sn.’dir.



(a)

(b)



(c)

Mass percent (%)

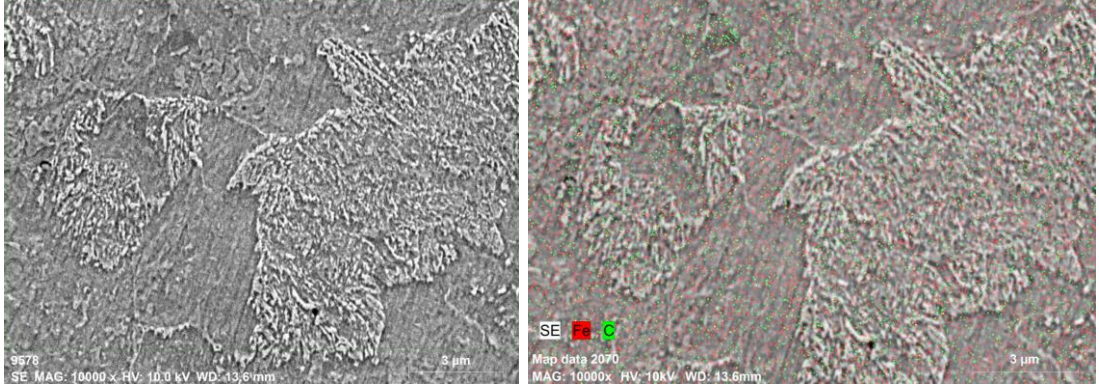
Spectrum	C	Fe
1	7.11	92.89
2	9.71	90.29
3	5.77	94.23
Mean value:	7.53	92.47
Sigma:	2.00	2.00
Sigma mean:	1.16	1.16

(d)

Şekil 4. 15. 1 kat (7 cm) 12 bar 30 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.

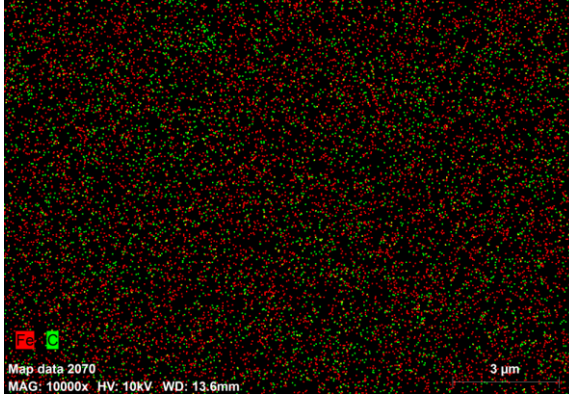
- 10 kx büyütmedeki görüntü.
- 10 kx büyütmedeki görüntünün temel harita analizi.
- Fe (kırmızı renk) ve C (yeşil renk) için harita veri analiz sonuçları.
- Harita veri analiz sonuçlarındaki Fe ve C için % oranları.

Şekil 4.16'de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat (14 cm), 12 bar hava basıncında, 30 saniye HS-KT ısıtma işlemi uygulandığı Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri verilmiştir. 2 kat 12 bar 30 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçanın soğuma hızı tepe bölgesinde 46,53°C/sn. kulak bölgesinde ise 10,81°C/sn.'dir.



(a)

(b)



(c)

Mass percent (%)

Spectrum	C	Fe
1	5.58	94.42
2	8.75	91.25
3	7.33	92.67
Mean value:	7.22	92.78
Sigma:	1.59	1.59
Sigma mean:	0.92	0.92

(d)

Şekil 4. 16. 2 kat (7 cm) 12 bar 30 sn. HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış Alt Oturma parçasının SEM görüntüleri.

a) 10 kx büyütmedeki görüntü.

b) 10 kx büyütmedeki görüntünün temel harita analizi.

c) Fe (kırmızı renk) ve C (yeşil renk) için harita veri analiz sonuçları.

d) Harita veri analiz sonuçlarındaki Fe ve C için % oranları.

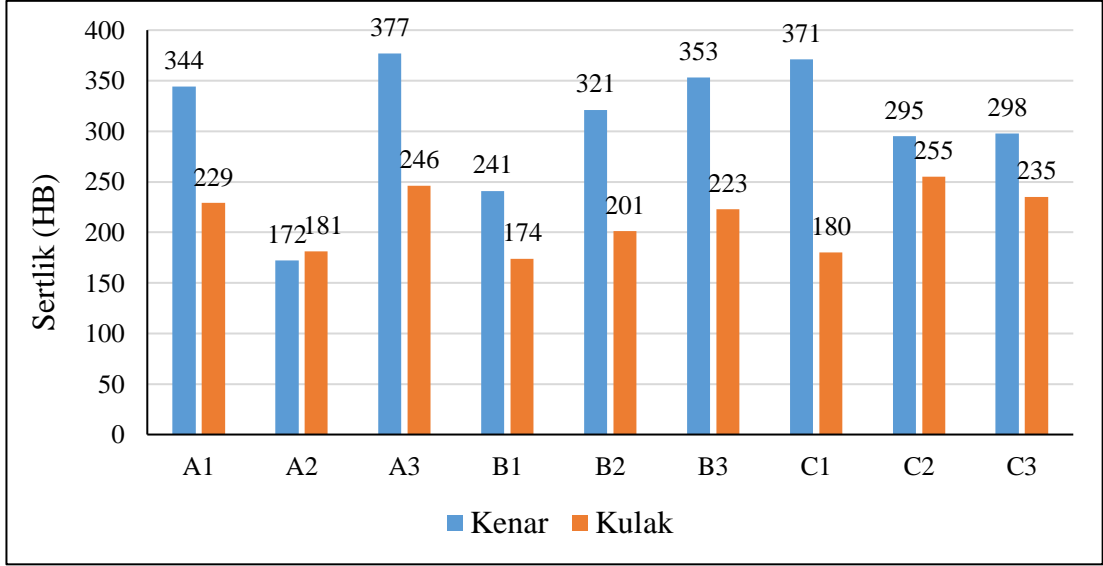
4.4. SERTLİK

Çizelge 4.2’de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin sırasıyla 1 kat ve 2 kat yani 7 cm ve 14 cm, 4, 8 ve 12 bar hava basıncında, 10, 20 ve 30 sn. soğutma süresinde HS-KT ısıt işlemleri uygulanmış Alt Oturma parçalarının kenar ve kulak bölgelerinden elde edilmiş sertlik değerleri her malzemeye ait farklı kodlamalar yapılarak verilmiştir. Şekil 4.17’de ise yukarıda bahsedilen farklı parametrelerde HS-KT ısıt işlemleri uygulanmış tüm Alt Oturma parçalarının sertlik değerleri daha iyi anlaşılabilmesi için sütun grafikleri verilmiştir.

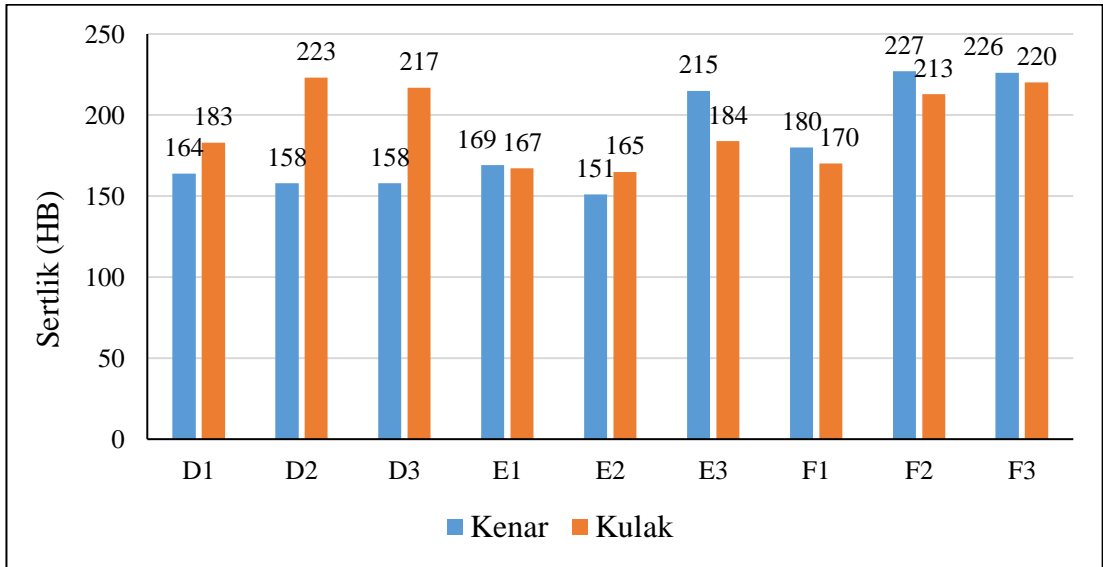
Tüm bu parçalardan elde edilen sertlik değerleri incelendiğinde, kenar bölgesindeki sertlik değerleri kulak bölgesine ait değerlere göre kısmen daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi, HS-KT ısıt işleminin uygulanması sırasında Alt Oturma parçasının her bir bölümü farklı oranlarda su verme, soğutma ve temperleme işlemlerine maruz kalmasındandır. Bunun yanında sertlik değerlerindeki bu farklılıklar Alt Oturma parçasının kenar ve kulak bölgelerinin farklı et kalınlıklarında olmasından kaynaklanmaktadır. Alt Oturma parçasının kenar bölgesinin et kalınlığı kulak bölgesine kıyasla daha düşük olduğundan sertlik değerleri de kenar bölgelerinde daha yüksektir.

Çizelge 4. 2. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki kenar ve kulak bölgelerine ait sertlik testi sonuçları.

Malzeme Kodu	Alt Oturma HS-KT Parametreleri	Kenar	Kulak
A1	1 Kat 12 Bar 10 sn.	344	229
A2	1 Kat 12 Bar 20 sn.	172	181
A3	1 Kat 12 Bar 30 sn.	377	246
B1	1 Kat 8 Bar 10 sn.	241	174
B2	1 Kat 8 Bar 20 sn.	321	201
B3	1 Kat 8 Bar 30 sn.	353	223
C1	1 Kat 4 Bar 10 sn.	371	180
C2	1 Kat 4 Bar 20 sn.	295	255
C3	1 Kat 4 Bar 30 sn.	298	235
D1	2 Kat 12 Bar 10 sn.	164	183
D2	2 Kat 12 Bar 20 sn.	158	223
D3	2 Kat 12 Bar 30 sn.	158	217
E1	2 Kat 8 Bar 10 sn.	169	167
E2	2 Kat 8 Bar 20 sn.	151	165
E3	2 Kat 8 Bar 30 sn.	215	184
F1	2 Kat 4 Bar 10 sn.	180	170
F2	2 Kat 4 Bar 20 sn.	227	213
F3	2 Kat 4 Bar 30 sn.	226	220



(a)



(b)

Şekil 4. 17. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulaması sonrası kenar ve kulak bölgelerine ait a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki sertlik testi sonuçlarının sütun grafiği.

4.6. DARBE ÇENTİK

Çizelge 4.3’de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat ve 2 kat yani 7 cm ve 14 cm, 4, 8 ve 12 bar hava basıncında, 10, 20 ve 30 sn. soğutma süresinde HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış Alt Oturma parçalarının darbe çentik testlerinin sonuçları her malzemeye farklı kodlamalar yapılarak verilmiştir. Tüm parçalara yapılan darbe çentik testi hem oda sıcaklığında hem de -20°C ’de gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.18’de ise yukarıda bahsedilen farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış tüm Alt Oturma parçalarının darbe çentik testi sonuçları daha iyi anlaşılabilmesi için sütun grafikleri verilmiştir.

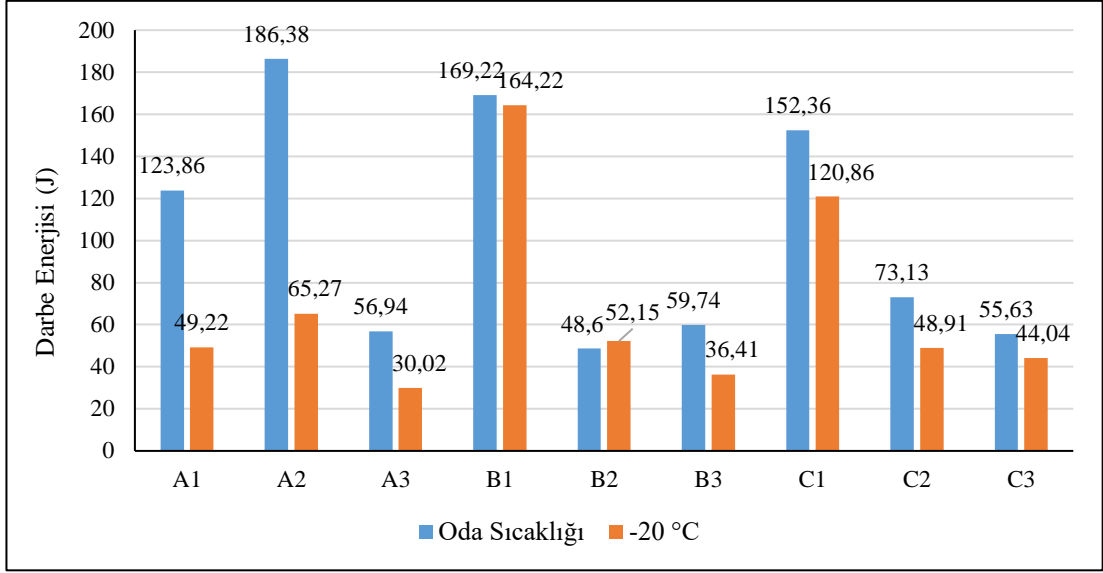
Darbe çentik testi sonuçları incelendiğinde elde edilen verilen EN 10025-2 standardına uygun olduğu görülmüştür. EN 10025-2 standardında S355J2 kalite çeliğin darbe çentik değeri minimum 27 J olarak verilir. HS-KT ısıtma işlemi sonrasında parçalardan elde edilen darbe çentik değerlerinin oda sıcaklığında 48,6 J ve 227,37 J aralığında iken -20°C ’de ise 30,02 J ve 164,22 J aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Alt Oturma parçasının dövme işleminden sonra darbe çentik değeri oda sıcaklığında 174,47 J ve -20°C ’de ise 113,98 J’dir. Hem oda sıcaklığında hem de -20°C ’de yapılan darbe çentik testleri sonucunda bu değerlerde HS-KT ısıtma işleminin uygulanması sonrasında iyileşmeler görülmüştür.

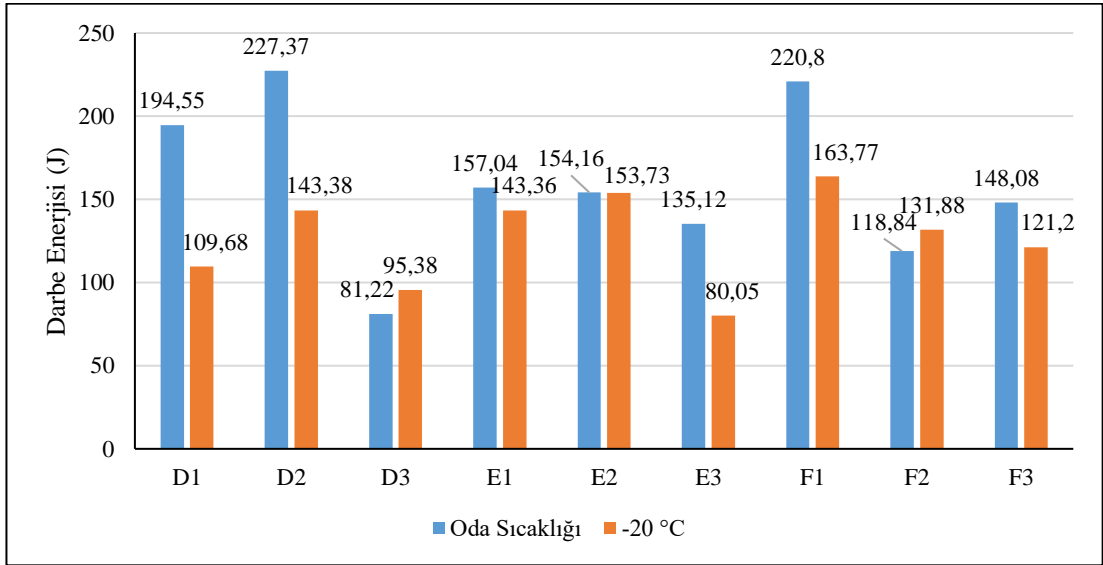
Alt Oturma parçası incelendiğinde parçanın her bir bölümü farklı et kalınlıklarına sahiptir. Ayrıca HS-KT ısıtma işlemi sırasında Alt Oturma parçasının her bir bölümü farklı oranlarda su verme, soğutma ve temperleme işlemlerine maruz kalmıştır. Tüm bu sebepler parçanın sertlik değerlerinde ki farklılıklara sebep olmuştur. Bu farklılıklar sonucunda parçaya uygulanan darbe yükleri karşısında gevrek kırılma ve çatlak oluşumu riskleri de sertlik değerlerinin düşük olduğu bölgelerde azalacaktır.

Çizelge 4. 3. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki oda sıcaklığı ve -20°C’de darbe çentik testi sonuçları.

Malzeme Kodu	Alt Oturma HS-KT Parametreleri	Darbe Enerjisi (J) Oda Sıcaklığı	Darbe Enerjisi (J) -20 °C
	İşlemsiz (Dövmeden Sonra)	174,47	113,98
A1	1 Kat 12 Bar 10 sn.	123,86	49,22
A2	1 Kat 12 Bar 20 sn.	186,38	65,27
A3	1 Kat 12 Bar 30 sn.	56,94	30,02
B1	1 Kat 8 Bar 10 sn.	169,22	164,22
B2	1 Kat 8 Bar 20 sn.	48,6	52,15
B3	1 Kat 8 Bar 30 sn.	59,74	36,41
C1	1 Kat 4 Bar 10 sn.	152,36	120,86
C2	1 Kat 4 Bar 20 sn.	73,13	48,91
C3	1 Kat 4 Bar 30 sn.	55,63	44,04
D1	2 Kat 12 Bar 10 sn.	194,55	109,68
D2	2 Kat 12 Bar 20 sn.	227,37	143,38
D3	2 Kat 12 Bar 30 sn.	81,22	95,38
E1	2 Kat 8 Bar 10 sn.	157,04	143,36
E2	2 Kat 8 Bar 20 sn.	154,16	153,73
E3	2 Kat 8 Bar 30 sn.	135,12	80,05
F1	2 Kat 4 Bar 10 sn.	220,8	163,77
F2	2 Kat 4 Bar 20 sn.	118,84	131,88
F3	2 Kat 4 Bar 30 sn.	148,08	121,2



(a)



(b)

Şekil 4. 18. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısıl işlemi uygulaması sonrası oda sıcaklığı ve -20°C'de a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki darbe çentik testi sonuçlarının sütun grafiği.

4.6. ÇEKME TESTİ

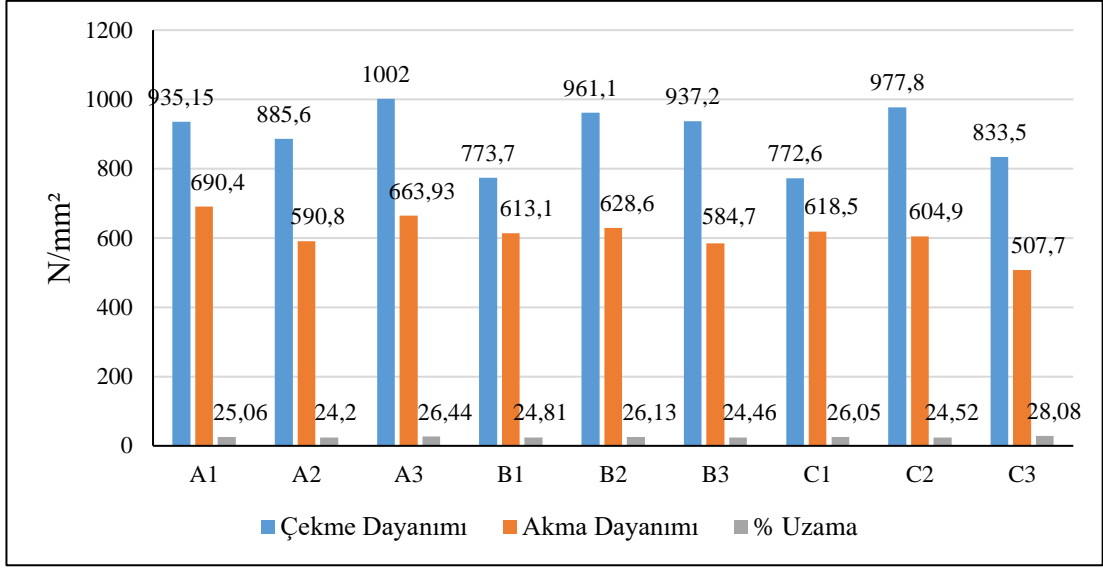
Çizelge 4.4’de soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat ve 2 kat yani 7 cm ve 14 cm, 4, 8 ve 12 bar hava basıncında, 10, 20 ve 30 sn. soğutma süresinde HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış Alt Oturma parçalarının çekme testlerinin sonuçları her malzemeye farklı kodlamalar yapılarak verilmiştir. Tüm parçalara yapılan çekme testi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.19’de ise yukarıda bahsedilen farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış tüm Alt Oturma parçalarının çekme testi sonuçları daha iyi anlaşılabilmesi için sütun grafikleri verilmiştir.

HS-KT ısıtma işlemi sonrasında parçalardan elde edilen çekme testi değerleri incelendiğinde çekme dayanımı sonuçları $605,65 \text{ N/mm}^2$ ve 1002 N/mm^2 aralığında iken akma dayanımı $690,4 \text{ N/mm}^2$ ve $425,70 \text{ N/mm}^2$ aralığında olduğu tespit edilmiştir.

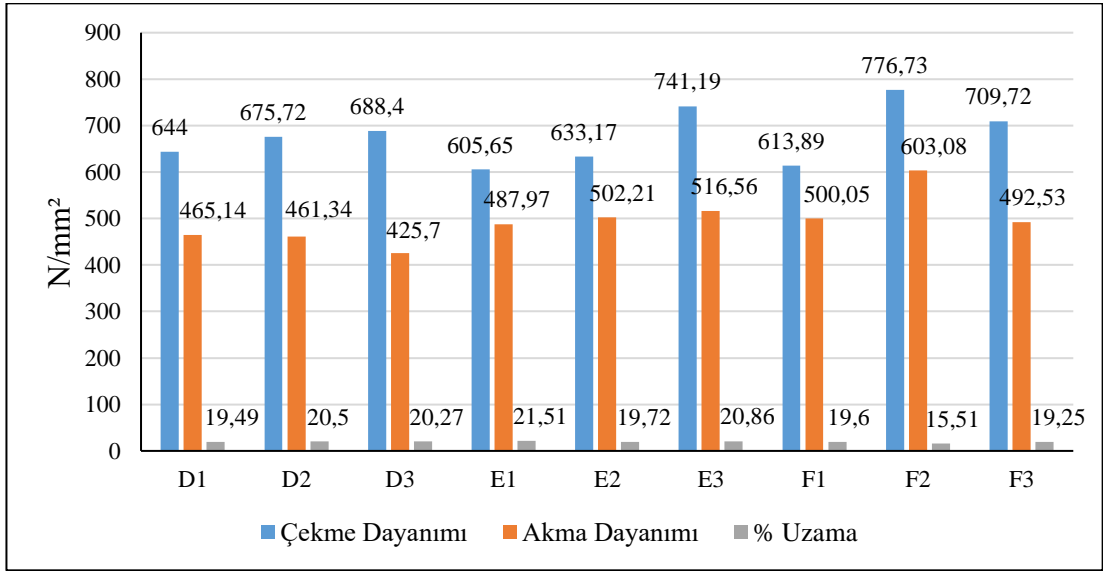
Alt Oturma parçasının dövme işleminden sonra çekme dayanımı değeri $604,3 \text{ N/mm}^2$ iken akma dayanımı değeri $390,5 \text{ N/mm}^2$ dir. HS-KT ısıtma işlemi uygulanması sonucunda hem çekme dayanımı hem de akma dayanımı değerlerinde iyileşmeler görülmüştür.

Çizelge 4. 4. Alt Oturma parçalarının farklı parametrelerdeki oda sıcaklığında çekme testi sonuçları.

Malzeme Kodu	Alt Oturma HS-KT Parametreleri	Çekme Dayanımı N/mm ²	Akma Dayanımı N/mm ²	% Uzama
	İşlemsiz (Dövmeden Sonra)	604,3	390,5	34,62
A1	1 Kat 12 Bar 10 sn.	935,15	690,4	25,06
A2	1 Kat 12 Bar 20 sn.	885,6	590,8	24,2
A3	1 Kat 12 Bar 30 sn.	1002	663,93	26,44
B1	1 Kat 8 Bar 10 sn.	773,7	613,1	24,81
B2	1 Kat 8 Bar 20 sn.	961,1	628,6	26,13
B3	1 Kat 8 Bar 30 sn.	937,2	584,7	24,46
C1	1 Kat 4 Bar 10 sn.	772,6	618,5	26,05
C2	1 Kat 4 Bar 20 sn.	977,8	604,9	24,52
C3	1 Kat 4 Bar 30 sn.	833,5	507,7	28,08
D1	2 Kat 12 Bar 10 sn.	644	465,14	19,49
D2	2 Kat 12 Bar 20 sn.	675,72	461,34	20,5
D3	2 Kat 12 Bar 30 sn.	688,4	425,7	20,27
E1	2 Kat 8 Bar 10 sn.	605,65	487,97	21,51
E2	2 Kat 8 Bar 20 sn.	633,17	502,21	19,72
E3	2 Kat 8 Bar 30 sn.	741,19	516,56	20,86
F1	2 Kat 4 Bar 10 sn.	613,89	500,05	19,6
F2	2 Kat 4 Bar 20 sn.	776,73	603,08	15,51
F3	2 Kat 4 Bar 30 sn.	709,72	492,53	19,25



(a)



(b)

Şekil 4. 19. Alt Oturma parçalarına farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulaması a) 1 kat mesafede ve b) 2 kat mesafede ki çekme testi sonuçlarının sütun grafiği.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, HS-KT ısıtma işlemi Alt Oturma isimli dövülerek üretimi yapılan parçalara soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat ve 2 kat yani 7 cm ve 14 cm, 4, 8 ve 12 bar hava basınçlarında, 10, 20 ve 30 sn. soğutma sürelerinde uygulanmıştır. Tez çalışmasında, Alt Oturma parçasının olağan özelliklerine farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulanarak etkileri araştırılmıştır. Tüm tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralandığı gibidir.

1. En yüksek soğuma hızı $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ olarak, soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 1 kat yani 7 cm, hava basıncının 4 bar ve soğutma süresinin 10 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının tepe bölgesinde elde edilmiştir. En düşük soğuma hızı ise, parçanın kulak bölgesinde $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ olarak tespit edilmiştir.

2. Isıtma işlemi malzemelerin mikroyapısı Ferrit+Perlit yapısında iken, soğuma hızına bağlı olarak yapının asiküler ferrit ve/veya poligonal ferrite sonrasında üst beyrit ve/veya sorbit yapısına daha sonra ise alt beyrit ve/veya martenzit fazı oluştuğu gözlemlenmiştir.

3. En yüksek soğuma hızı $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ olarak elde edilen 1 kat, hava basıncının 4 bar ve soğutma süresinin 10 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının sertlik değerleri kenar bölgesinde 371 HB sertliğe sahip iken kulak bölgesinde 180 HB değerindedir. En düşük soğuma hızı $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ olarak elde edilen 2 kat, hava basıncının 4 bar, soğutma süresinin 20 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının sertlik değerleri ise, parçanın kenar bölgesinde 227 HB sertlik değerine sahip iken kulak bölgesinde 213 HB değerindedir. Alt Oturma parçasının

kenar bölgesinin et kalınlığı kulak bölgesine kıyasla daha düşük olduğundan sertlik değerleri de kenar bölgelerinde daha yüksektir.

4. En yüksek soğuma hızı $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ olarak elde edilen 1 kat, hava basıncının 4 bar ve soğutma süresinin 10 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının çentik darbe testi sonucu oda sıcaklığında 152,36 J iken, -20°C 'de 120,86 J değerindedir. En düşük soğuma hızı $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ olarak elde edilen 2 kat, hava basıncının 4 bar, soğutma süresinin 20 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının çentik darbe testi oda sıcaklığında 118,84 J iken -20°C 'de 131,88 J değerindedir. Parçalara uygulanan HS-KT ısıtma işlemi sonrasında çentik darbe testi sonuçları, EN 10025-2 standardına göre minimum 27 J olması gereken değerler nozullar arasındaki mesafe 7 cm olduğunda en yüksek 186,38 J iken en düşük 30,02 J bulunmuştur. Aynı şekilde nozullar arasındaki mesafe 14 cm olduğunda bu değerler en yüksek 227,37 J ve en düşük 80,05 J olarak bulunmuştur. Çentik darbe testi sonuçları incelendiğinde 1 kat (7 cm) iken dövme işlemi yapılan Alt oturma parçaları ve HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçalar kıyaslandığında oda sıcaklığında %6,89, -20°C 'de ise %45,13 oranında artış gözlenmiştir. 2. Kat (14 cm) çentik darbe testi sonuçları kıyaslandığında ise bu oranlar oda sıcaklığında %30,45, -20°C 'de ise %44,25 artış elde edilmiştir.

5. En yüksek soğuma hızı $76,31^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ olarak elde edilen 1 kat, hava basıncının 4 bar ve soğutma süresinin 10 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının çekme dayanımı $772,6 \text{ N}/\text{mm}^2$ iken akma dayanımı $618,5 \text{ N}/\text{mm}^2$ değerindedir. En düşük soğuma hızı $2,64^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ olarak elde edilen 2 kat, hava basıncının 4 bar, soğutma süresinin 20 sn. olduğu HS-KT ısıtma işlemi uygulanan Alt Oturma parçasının çekme dayanımı $776,73 \text{ N}/\text{mm}^2$ iken akma dayanımı $603 \text{ N}/\text{mm}^2$ değerindedir. Çekme testi sonuçları incelendiğinde 1 kat (7 cm) iken dövme işlemi yapılan Alt oturma parçaları ve HS-KT ısıtma işlemi uygulanan parçalar kıyaslandığında çekme dayanımı %65,89, akma dayanımı ise %76,92 oranında artış gözlenmiştir. 2 kat (14 cm) iken çekme dayanımı %28,47, akma dayanımı ise %54,61 oranında artış gözlenmiştir.

Çeliklere uygulanan bir ısıtma işlemi olarak yüksek akışlı su püskürtme işleminin yaygın olarak kullanımı mevcuttur. Ancak su ve havanın birlikte kullanıldığı soğutma

sistemleri hakkındaki çalışmalar az sayıdadır. Bu nedenle su+hava karışım sistemlerinin kullanımı konusunda bu çalışmanın yapılması daha az su tüketimi sağlayacak ve çeliklere uygulanan ısıl işlemlere alternatif olacaktır. Bu tez çalışması için tasarlanan HS-KT ısıl işleminin parametreleri değiştirilerek uygulanması farklı sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Degner, M., “Steel Manual”, Verlag Stahleisen, Dusseldorf, Germany, (2008).
2. Atgür, M., “Avrupa birliği’ne uyum sürecinde türkiye’de demir çelik sektörü: analizi, sorunlar ve çözüm önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Balıkesir, (2006).
3. Yin, R.Y., Metallurgical Process Engineering, 2nd ed., Metallurgical Industry Press, Beijing, (2009).
4. Köybaşı, E.H., “İskenderun bölgesindeki demir çelik firmaları özelinde, demir çelik sektörünün ihracatta karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir, (2019).
5. Savaşkan, T., 1999, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 213-271, Derya kitapevi, 285 s.
6. Kınıkoğlu, N.G., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Mart Matbaacılık, 65, 855s. İstanbul.
7. Onaran, K., 2006. Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, Ulus Matbaası, 383s. İstanbul.
8. Özakin B., “Temper haddelemede mekanik özellik yüzey pürüzlendirme ilişkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Samsun, (2021).
9. İnternet: Bartın Üniversitesi, “58. Hafta Metallerde Plastik Şekil Verme”, <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/metallereplastiksekilvermebolum58.hafta.pdf> (2022).
10. Lee, Y. H., Tan, C. S., Mohammad, S., Md Tahir, M., & Shek, P. N. (2014). Review on cold-formed steel connections. *The Scientific World Journal*, 2014.
11. İkiz, B., “Sıcak haddelemede tempcore prosesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal*

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, (2009).

12. İnternet: “Ektrüzyon Hakkında Detaylar”, <https://atateknik.com.tr/ekstruzyon-hakkinda-detaylar/> (2023)
13. Hawkins, D. N., & Tsinoopoulos, G. (1978). Effect of warm extrusion on the structure and properties of low-carbon steels. *Journal of Mechanical Working Technology*, 2(2), 161-177.
14. Caminaga, C., Neves, F. O., Gentile, F. C., & Button, S. T. (2007). Study of alternative lubricants to the cold extrusion of steel shafts. *Journal of materials processing technology*, 182(1-3), 432-439.
15. Çelik, E., “Çelik tel çekme hadde geometrisinin telin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya, 13-15 (2019).
16. İnternet: “3. Metallerde plastik Şekillendirme işlemleri”, [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/6\)%20Metallerde%20Plastik%20%9Eekillendirme%20%9Flemleri.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/6)%20Metallerde%20Plastik%20%9Eekillendirme%20%9Flemleri.pdf) (2019).
17. Gülen, M., “Derin çekmede geri yaylanmanın etkisinin sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 15-19 (2019).
18. İnternet: “Derin Çekme Yöntemi – Ar-Ge ve Tasarım”, <https://argevetasarim.com/derin-cekme-yontemi/>, (2023).
19. İnternet: “1 Sac Şekillendirme İşlemleri”, <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr300420180H7S9C0E.pdf>, (2023).
20. Sugimoto, K. I., Hojo, T., & Srivastava, A. K. (2019). Low and medium carbon advanced high-strength forging steels for automotive applications. *Metals*, 9(12), 1263..
21. İnternet: “Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler”,

<http://www.nscelik.com/celiklereuygulanaisilislemler.html>, (2023).

22. He, F., Ma, X., Shen, K., & Wang, C. (2019). Study on material and energy flow in steel forging production process. *IEEE Access*, 8, 12921-12932.
23. U. Ünver ve O. Kara, "Bir çelik dövme tesisinde en düşük enerji tüketimi ile üretim prosesinin belirlenmesi ile enerji verimliliği", *J. Cleaner Prod.*, cilt 215, s. 1362-1370, Nisan 2019.
24. Jang, Y. S., Ko, D. C., & Kim, B. M. (2000). Application of the finite element method to predict microstructure evolution in the hot forging of steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 101(1-3), 85-94.
25. Yoshida, H., Isogawa, S., & Ishikawa, T. (2000). Basic Property of Martensitic Microalloyed Steel-Development of Microalloyed Steel for Forging Using Ausforming I. *JOURNAL-JAPAN SOCIETY FOR TECHNOLOGY OF PLASTICITY*, 41(4; ISSU 471), 379-383.
26. Łukaszek-Sołek, A., Krawczyk, J., Śleboda, T., & Grelowski, J. (2019). Optimization of the hot forging parameters for 4340 steel by processing maps. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 3281-3290.
27. Fujikawa, S. (2000). Application of CAE for hot-forging of automotive components. *Journal of Materials Processing Technology*, 98(2), 176-181.
28. Ji, H., Song, G., Huang, X., Li, J., Pei, W., & Xiao, W. (2022). Precision hot forging forming experiment and numerical simulation of a railway wagon bogie adapter. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120(1-2), 907-925.
29. Summerville, E., Venkatesan, K., & Subramanian, C. (1995). Wear processes in hot forging press tools. *Materials & Design*, 16(5), 289-294.
30. Kim, D. H., Lee, H. C., Kim, B. M., & Kim, K. H. (2005). Estimation of die service life against plastic deformation and wear during hot forging processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 166(3), 372-380.
31. Gülgen, İ.S., 2008. İş Makineleri Tırnakları Üretiminde Kullanılan Az Alaşımli Çeliklerin Isıl İşlemi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Sakarya.
32. Topbaş, M.A., 1993. Isıl İşlemler. Prestij Yayınevi, Ekim Ofset, 440s. İstanbul.
33. Ulu, S., 2004. Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Temel Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Afyon.

34. Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitabevi, Beta Basım, 284s. Trabzon.
35. Savaşkan, T., “Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi”, Papatya Bilim Yayıncılık, (2019).
36. Keski, E., Ç-4140 Çeliğinin Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2009).
37. Özkader, M. Ç., “Isıl İşlemlerle AISI 4140 Çeliğinin Abrasiv Aşınmasının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çorum, (2015).
38. Şen, Y., “Talaşlı İmalat Esnasında Parçalara Yüklenen Artık Gerilmelerin Isıl İşlem Sonrası Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, (2006).
39. Yıldırım, D., “ 2205 dubleks paslanmaz çelik ile S355J2 genel yapı çeliğinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2018).
40. TS EN 10025-2, “Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri - Bölüm 2: Alaşımsız yapı çeliklerinin teknik teslim şartları”, Ankara (2019).
41. Finnigan, S., Charnish, B., Chmielowski, R., “Steel and the skyscraper city: A study on the influence of steel on the design of tall buildings”, *Council on Tall Buildings and Urban Habitat Research Paper*, 114-123 (2015).
42. Deng, X., & Ju, D. (2013). Modeling and simulation of quenching and tempering process in steels. *Physics Procedia*, 50, 368-374.
43. Raedt, H.W.; Wilke, F.; Ernst, C.S. Lightweight forging initiative—Phase II: Lightweight design potential in a light commercial vehicle. *ATZ* **2016**, 118, 49–52.
44. Raedt, H.W.; Wurm, T.; Busse, A. The lightweight forging initiative—Phase III: Lightweight forging design for hybrid cars and heavy-duty trucks. *ATZ* **2019**, 120, 54–59.
45. Keul, C.; Wirths, V.; Bleck, W. New bainitic steel for forgings. *Arch. Civ. Mech. Eng.* **2012**, 12, 119–125.

46. Buchmayr, B. Critical assessment 22: Bainitic forging steels. *Mater. Sci. Technol.* **2016**, *32*, 517–522.
47. Gramlich, A.; Emmrich, R.; Bleck, W. Austenite reversion tempering-annealing of 4 wt. % manganese steels for automotive forging application. In Proceedings of the 4th International Conference on Medium and High Mn Steels, Aachen, Germany, 1–3 April 2019; pp. 283–286.
48. Zengin, H., Ahlatci, H., Oner, S., Demirkazik, M.E., Ozcelik, S., Turen, Y., Sun, Y., “The effect of accelerated cooling on microstructure and impact strength of S355J2 quality steels used in power transmission line construction”, *Universal Journal of Materials Science*, *7* (1), 1-5 (2019).
49. Koo, B.S., “A theoretical approach for estimating the effect of water-jet quenching on low-carbon steel beams”, *Scientific Reports*, *11*, 15401 (2021).
50. Rodrigues, P.C.M., Pereloma, E.V., Santos, D.B., “Mechanical properties of an HSLA bainitic steel subjected to controlled rolling with accelerated cooling”, *Materials Science and Engineering A*, *283* (8), 136-143 (2000).
51. Das, A., Sunil, S., Kapoor, R., “Effect of cooling rate on the microstructure of a pressure vessel steel”, *Metallography, Microstructure, and Analysis*, *8*, 795-805 (2019).
52. Rasouli, D., Asl, Sh.K., Akbarzadeh, A., Daneshi, G.H., “Effect of cooling rate on the microstructure and mechanical properties of microalloyed forging steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, *206*, 92-98 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Halime KİRTİŞ ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamlamıştır. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başlayarak 2019 yılında mezun olmuştur. 2020 yılında Konya FMC Hidrolik Sistemleri ve Otomotiv firmasında iş hayatına başlamıştır ve bu firmada çalışma hayatına devam etmektedir.