T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI

BAZI BORLU ÇELİKLERİN KOROZYON DİRENCİ ÜZERİNDE ISIL İŞLEMLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gürkan AYDIN

Danışman
Doç. Dr. Aysel YAZICI



MANİSA–2019

Tez Sırtı Örneği

Gürkan AYDIN	BAZI BORLU ÇELİKLERİN KOROZYON DİRENCİ ÜZERİNDE ISIL İŞLEMLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ	2019

TEZ ONAYI

Gürkan AYDIN tarafından hazırlanan **"Bazı Borlu Çeliklerin Korozyon Direnci Üzerinde Isıl İşlemlerin Etkisinin İncelenmesi"** adlı tez çalışması …/…/… tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	**Doç. Dr. Aysel YAZICI** Manisa Celal Bayar Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Enver ATİK** Manisa Celal Bayar Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Ahmet Murat PINAR** Pamukkale Üniversitesi	.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gürkan AYDIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Borlu Çelikler	3
2.2. Çeliklerde Yapılan Isıl İşlemler	4
2.2.1. Tavlama	4
2.2.2. Sertleştirme	5
2.2.3. Temperleme	6
2.3. Korozyon	8
2.4. Tezin Amacı	9
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	10
3.1. Materyal	10
3.1.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması	10
3.1.1.1. Çekme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması	10
3.1.1.2. Metalografi Deney Numunelerinin Hazırlanması	12
3.1.1.3. Korozyon Deneyi Numunelerinin Hazırlanması	12
3.1.1.4. Sertlik Ölçme Deney Numunelerinin Hazırlanması	13
3.1.1.5. Metal Spectro ve XRD Deney Numunelerinin Hazırlanması	13
3.2. Yöntemler	13
3.2.1. Yapılan Isıl İşlemler	13
3.2.2. Mikroyapı Fotoğraflarının Çekilmesi	16
3.2.3. Sertlik Dağılım Profilinin Belirlenmesi	17
3.2.4. Çekme Deneylerinin Yapılması	17
3.2.5. Tane Büyüklüğünün Belirlenmesi	19
3.2.6. Kalıntı Östenit Miktarının Belirlenmesi	20
3.2.7. Korozyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	22
4.1. Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları	22
4.2. Numunelerin Sertlik Dağılım Değerleri	27
4.3. Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	29
4.4. Numunelerin Ferrit Tane Büyüklüğü	37
4.5. Kalıntı Östenit Miktarı	38
4.6. Numunelerin Korozyon Karakteristikleri	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	Bor
Mn	Mangan
Cr	Krom
Ni	Nikel
HB	Brinell sertlik
mm	Milimetre
ppm	Milyonda bir birim
HV	Vickers sertlik
s	Saniye
N	Newton
dk	Dakika
Q	Sertleştirme
T	Temperleme
Fe_3C	Sementit
XRD	X-ışınları kırınım cihazı
Ac_1	Ötektoid reaksiyon sıcaklığı
Ac_3	Ötektoid altı çeliklerde tam ostenit alanına geçiş sıcaklığı
α-Fe	Ferrit
mV	Milivolt
$mm.yıl^{-1}$	Korozyon sonucu metal kalınlığında bir yılda meydana gelen azalma
EW	Ekivalent ağırlık
K	Korozyon hız sabiti
C	Karbon
NaCl	Sodyum klorür
°C	Derece
%	Yüzde
cm^2	Santimetrekare
TTT	Zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı
R^2	Korelasyon katsayısı
Ms	Martenzitik dönüşümün başlangıç sıcaklığı
Mf	Martenzitik dönüşümün bitiş sıcaklığı
ZSD	İzotermal dönüşüm diyagramı

K	Kelvin
g	Gram
cm^3	Santimetreküp

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sertleştirme, yumuşatma, normalizasyon ve küreselleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları 5
Şekil 2.2. Yağda su verilen AISI 4340 çeliğinin akma ve çekme dayanımları ile kesit daralmasının temperleme sıcaklığına göre değişimi 7
Şekil 2.3. Suda sertleştirilmiş AISI 1080 çeliğinin sertlik değerinin temperleme sıcaklığı ve işlem süresiyle değişimi 7
Şekil 3.1. 8 mm kalınlıktaki çekme deneyi numune boyutları 11
Şekil 3.2. 10 mm kalınlıktaki çekme deneyi numune boyutları 11
Şekil 3.3. Isıl işlem fırını ve numuneler 13
Şekil 3.4. Zaman-sıcaklık-dönüşüm (TTT) diyagramı 15
Şekil 3.5. 30MnB5 çeliğinin hızlı soğutulması durumunda tahmini olarak elde edilen TTT (zaman- sıcaklık- dönüşüm) diyagramı 16
Şekil 3.6. Çeliklerde karbon oranının Ms ve Mf sıcaklıklarına etkisi 16
Şekil 3.7. NikonEpiphot 200 optik mikroskop 17
Şekil 3.8. Mitutoyo HM cihazı 17
Şekil 3.9. Düşük karbonlu çelik için gerilme-birim uzama eğrisi 18
Şekil 3.10. Çekme deneyinin yapıldığı Shimadzu uh-f500knx çekme makinesi 19
Şekil 4.1. 34MnB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları 22
Şekil 4.2. 30MnB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları 24
Şekil 4.3. 27MnCrB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları 26
Şekil 4.4. 34MnB5 çeliğinin sertlik dağılım profili 28
Şekil 4.5. 30MnB5 çeliğinin sertlik dağılım profili 28
Şekil 4.6. 27MnCrB5 çeliğinin sertlik dağılım profili 29
Şekil 4.7. 27MnCrB5 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri 31
Şekil 4.8. 30MnB5 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri 32
Şekil 4.9. 34MnB5 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri 33
Şekil 4.10. 34MnB5 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki numune görüntüleri 34
Şekil 4.11. 30MnB5 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki numune görüntüleri 35
Şekil 4.12. 27MnCrB5 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki numune görüntüleri 36
Şekil 4.13. 34MnB5 çeliğinin Tafel eğrileri 41
Şekil 4.14. 30MnB5 çeliğinin Tafel eğrileri 43
Şekil 4.15. 27MnCrB5 çeliğinin Tafel eğrileri 45

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Malzemenin ağırlıkça % alaşım element içeriği (Fe-kalan)	10
Tablo 3.2. Malzeme ve deneyler hakkında bilgi	10
Tablo 4.1. Çekme deneyi sonuçları	30
Tablo 4.2. Su verilmiş ve temperlenmiş numuneler için ortalama ferrit tane boyutu	37
Tablo 4.3. % 3.5'luk NaCl'ye daldırılmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrilerinin elektrokimyasal kinetik parametreleri	40

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında her zaman yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili danışman hocam Sayın Doç. Dr. Aysel YAZICI' ya, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, hep yanımda olan eşim ve aileme, sertlik ölçme ve numunelerin hazırlanması aşamalarında destek olan Dösan ısıl işlem firmasına, çekme deney numunelerinin lazerle kesilme işleminde destek olan Tigres sac işleme firmasına, son olarakta mikroyapı fotoğraf çekimi ve çekme deneylerinin yürütülmesinde destek olan Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvar bölümüne yürekten teşekkür ederim.

Gürkan AYDIN
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bazı Borlu Çeliklerin Korozyon Direnci Üzerinde Isıl İşlemlerin Etkisinin İncelenmesi

Gürkan AYDIN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aysel YAZICI

Bu çalışmanın amacı 27MnCrB5, 30MnB5 ve 34MnB5 borlu çeliklerin korozyon direnci üzerinde östenitleme ve temperleme sıcaklığının etkisini incelemektir. Deney numuneleri 850 °C, 900 °C ve 950 °C'de östenitlenmiş ve 25 °C'lik su ortamına daldırılarak sertleştirilmiştir. Sertleştirme işlemini takiben numuneler 150 °C, 300 °C ve 450 °C'de 30 dakika temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Çalışmada ısıl işlemler sonrası, numunelerin sertlik dağılım profili, ortalama ferrit tane büyüklüğü, mikroyapı değişimleri, korozyon karekteristikleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda korozyon hızları bakımından östenitleme ve temperleme sıcaklıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. Korozyon deneyleri sonucunda, değişen karbon (C) oranının korozyon hızını etkilediği ve artan C oranının korozyon hızını arttırdığı saptanmıştır. İncelenen ısıl işlem koşulları altında, ortalama ferrit tane büyüklüğü ile korozyon hızı arasında zayıf bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Çekme deneyleri sonucunda, sertleştirme ve temperleme sıcaklığındaki artışın, çekme, akma ve kopma gerilmesi değerlerinde düşüşe neden olduğu saptanmıştır. En yüksek çekme, akma ve kopma gerilmesi değerleri 150 °C'de yapılan temperleme işleminde elde edilmiş, bunu sırasıyla 300 °C ve 450 °C'de yapılan temperleme işlemleri takip etmiştir. Çekme, akma ve kopma gerilmesi değerleri üzerinde, temperleme sıcaklığının östenitleme sıcaklığından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Temperleme sıcaklığının çekme gerilmesi üzerindeki etkisi, akma gerilmesi üzerindeki etkisinden daha belirgindir.

Anahtar Kelimeler: Borlu çelikler, ısıl işlemler, korozyon direnci, mekanik özellikler, sertleştirme, Tafel ekstrapolasyon, ferrit tane büyüklüğü.

2019, 54 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of the Impacts of Heat Treatment Processes on Corrosion Resistance of Certain Boron Steel

Gürkan AYDIN

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aysel YAZICI

The aim of this study is to investigate the effect of austenitizing and tempering temperature on the corrosion resistance of 27MnCrB5, 30MnB5 and 34MnB5 boron steels. The experiment specimens were austenitized at 850 ° C, 900 ° C and 950 ° C. The specimens were immersed in water at approximately 25 °C. After the hardening, the specimens were tempered at 150 ° C, 300 ° C and 450 ° C for 30 minutes. In this study, after the heat treatment, hardness distribution profile, average ferrite grain size, microstructure changes, corrosion characteristics and mechanical properties of the specimens were investigated. It was determined that austenitization and tempering temperatures were important in terms of corrosion rates. As a result of the corrosion experiments, it was found that the changing C ratio in the boron steels affected the corrosion rate and the increasing C ratio increased the corrosion rate. A weak correlation was found between the average ferrite grain size and corrosion rate under the heat treatment conditions in experiment. As a result of tensile experiments, it was determined that the increase in hardening and tempering temperature caused a decrease in tensile and yield stres values. The highest tensile, yield, and break stress values were obtained in the tempering process at 150 °C followed by tempering operations at 300 °C and 450 °C, respectively. The effect of the tempering temperature on tensile, yield and break stress was determined to be more effective than the effect of austenitizing temperature. The effect of tempering temperature on the ultimate tensile strength is greater than on the yield strength.

Keywords: Boron steels, heat treatment, corrosion resistance, mechanical properties, hardening, Tafel extrapolation, ferrite grain size.

2019, 54 pages

1. GİRİŞ

Malzeme ve makine mekanik aksamlarında aşınma ve yorulma kaynaklı ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Ekonomik kayıpların azaltılabilmesi için de kullanılan malzeme özellikleri iyileştirilmelidir. Geliştirilmiş yeni malzemelerin en önemli özellikleri yorulma direnci ve yüksek aşınma haricinde ekonomik maliyettir. Malzeme ömürlerini en çok etkileyen korozyon, sürtünme ve aşınma gibi tribolojik etkilerdir. Servis zamanlarında da malzeme ve makine parçalarında tribolojik etkiler sebebi ile ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Dolayısıyla malzeme ömürlerinin arttırılması ve malzeme kayıplarının azaltılması için malzemelerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Dünyada yaşanan önemli miktardaki malzeme kayıpları, aşınma ve korozyondan dolayı olmaktadır. Ülkelerin korozyon nedeniyle kayıpları gayri safi milli hasılatlarının % 3.5 - 5'i arasında değişmektedir. Yalnız Türkiye' deki 1991 yılı kaybı 4.5 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir [1].

Makine imalat sanayinde yüksek dayanım istenen durumlarda veya zorlu koşullarda çalışacak iş parçalarında alaşımsız çeliklerin özellikleri çoğu zaman yeterli olamamaktadır. Bu yüzden alaşım elementleri ilavesi ile özellikleri iyileştirilmiş çeliklerin kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır [2]. Çelik malzemede aşınma ve yorulma dirençlerinin iyileştirilmesinde krom, nikel, molibden, tungsten ve vanadyum gibi alaşım elementleri kullanılır. Ama bu malzemeler pahalı olup, yüksek miktarlarda kullanılması gerekmektedir [3, 4, 5]. Daha düşük maliyet ve miktarlarda aynı özelliğe sahip alaşım elementi kullanarak elde edilme çalışmaları sonucunda bor ve borlu çelikler ön plana çıkmıştır. Aynı özellik ve kalite yönünden 100 kat daha fazla Mn, Ni veya Cr kullanmak gerekmektedir. Bor, çok kuvvetli bir alaşım elementidir ve çoğu alaşım elementinin yerine kullanılabilir [2, 5, 6].

Borlu çelikler, kullanılan ham maddede tasarruf sağlar. Takım ömrünü geliştirir ve sertlik verir. Soğuk işlenebilirliği iyileştirir. Sertleşebilirliği arttırır. Ayrıca, ısıl işlem sonrası asgari çarpılma ve yüksek derecede sertlik sağlar. Su verme derinliğini artırır. Düşük tavlama sıcaklığından dolayı enerjiden tasarruf sağlar [7]. Yüksek sıcaklık koşullarında da hassas, yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturabilme özelliğine sahiptir. Bor ve bor ürünleri katkı sunduğu bütün ürünleri özellikle de çelikleri dayanıklı ve sürdürülebilir bir hale dönüştürmektedir. Bor ve

borlu ürünler ile oluşturulmuş sanayide kullanılan endüstriyel yağlar, makine ve diğer ekipmanlarda sürtünmeyi ve aşınmayı azaltır. Makine ömrünün uzamasına yardımcı olur. Yüksek sıcaklıklarda çalışabilen borlu yağlar; sürtünme ve aşınmayı azaltarak gürültü oluşumunu azaltır ve gürültü kirliliğini engeller. Ayrıca, uzay ve havacılık alanında aerodinamikteki gelişmelerde, yüksek hıza sahip kanat uygulamalarında, yüksek ısıya dayanıklı gövdelerin tasarım ve geliştirme aşamalarında da kullanılmaktadır [8].

Yapılan çalışma sonucunda elde edilecek bulguların özellikle üretim kalitesi yönünden kısıtları bulunan tarım makineleri sektörüne aktarılmasıyla ve bunun bir sonucu olarak korozif kayıpların azaltılması yoluyla ülke ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmanın ülkemiz makine imalat sektöründe özellikle tarım alet ve makineleri imalat sektöründe üretim kalitesinin artmasına ve hurda miktarının azalmasına bulgular sağlayacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Borlu Çelikler

Borlu çelikler yüksek aşınma dayanımı, yüksek sertlik, kolay işlenebilme ve ısıl işlemler sonrasında iyi mekanik özellikler sergileme gibi önemli özelliklere sahiptirler. 10 - 30 ppm bor ilavesinin, düşük alaşımlı çeliklerin sertleşebilirliğini büyük ölçüde arttırdığı bilinmektedir [9, 10]. Borlu çelikler, eşdeğer sertlikte borsuz çeliklere kıyasla daha iyi işlenebilirliğe sahiptir [11, 12]. İlaveten borlu çeliklerin düşük karbon içeriğine rağmen daha yüksek direnç sağlamaları, su vermede meydana gelen çatlak ve çarpılmalara karşı daha az hassasiyet göstermeleri belli başlı üstünlüklerindendir [13, 14]. Bu özellikleri nedeniyle, özellikle aşınma ve sürtünmeye direnç gerektiren makinelerin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Forklift kollarında, vites dişlilerinde, iş makinelerinin iş gören kısımlarında, kepçe tırnakları, tank paletleri, toprak işleme makinelerinin işleyici organları, otomotiv sektöründe darbelere maruz kalabilecek yerler gibi borlu çeliklerin otomotiv, tarım makineleri, iş makineleri gibi birçok alanda kullanıldığı görülmektedir.

Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan 20MnB5, 22MnB5 gibi borlu çelikler üzerinde oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Naderi, doktora tez çalışmasında 8MnCrB3, 20MnB5, 22MnB5, 27MnCrB5 ve 37MnB4 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde sıcak ve soğuk presleme ve soğutma ortamının etkisini incelemiştir [15]. Güler ve ark. yüksek sıcaklıklarda (400 - 900 °C) 30MnB5 çeliğinin karekteristik özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Söz konusu çalışmada 30MnB5 çeliğinin akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve Young Modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Östenitleme sıcaklığına bağlı olarak (800 - 900 °C) 30MnB5 çeliğinin çeki gerilmesi ve sertlik dağılımını belirlemek amacıyla yaptıkları diğer bir çalışmada 30MnB5 çeliği için en yüksek çeki gerilmesi değerinin 850 °C'de östenitlenerek sertleştirilmiş numunelerde elde edildiğini saptamışlardır [16]. Yazıcı, karbonitrürleme, martemperleme gibi farklı ısıl işlemlerin pulluk uç demirlerinin imalatında kullanılan 30MnB5 çeliğinin sertlik dağılımı ve abrasif aşınma direnci üzerindeki etkisini incelemiştir [17, 18, 19].

Korozyondan dolayı meydana gelen enerji, malzeme ve işçilik kaybının yıllık miktarı ülkelerin gayri safi milli gelirlerinin yaklaşık % 5'i düzeyindedir [20].

Korozyon sonucu yalnız metal kaybedilmekle kalınmaz, aynı zamanda korozyona uğramış ekipman işlevini yapamaz hale gelir. Korozyonun neden olduğu malzeme hasarlarından kaynaklanan program dışı duruşlar, üretimin aksamasına ve dolayısıyla ekonomik kayıplara yol açar. Korozyonu tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmamakla beraber, korozyona karşı alınacak önlemler, korozyon hızının azaltılmasına ve böylece metalin ömrünün belirli süre daha artırılmasına olanak sağlar.

Farklı ısıl işlemlerin borlu çeliklerin mekanik özellikleri ve abrasif aşınma kayıpları üzerindeki etkisini incelemeye yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak, özellikle tarım ve iş makineleri alanında kullanılan borlu çeliklerin korozyon direnci üzerinde östenitleme ve temperleme ısıl işlemlerinin etkini belirlemeye yönelik çalışmalara pek rastlanılamamıştır. Bu çalışmada, östenitleme ve temperleme sıcaklıklarının tarım ve iş makineleri sektöründe yaygın olarak kullanılan 34MnB5, 30MnB5 ve 27MnCrB5 borlu çeliklerin korozyon direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir.

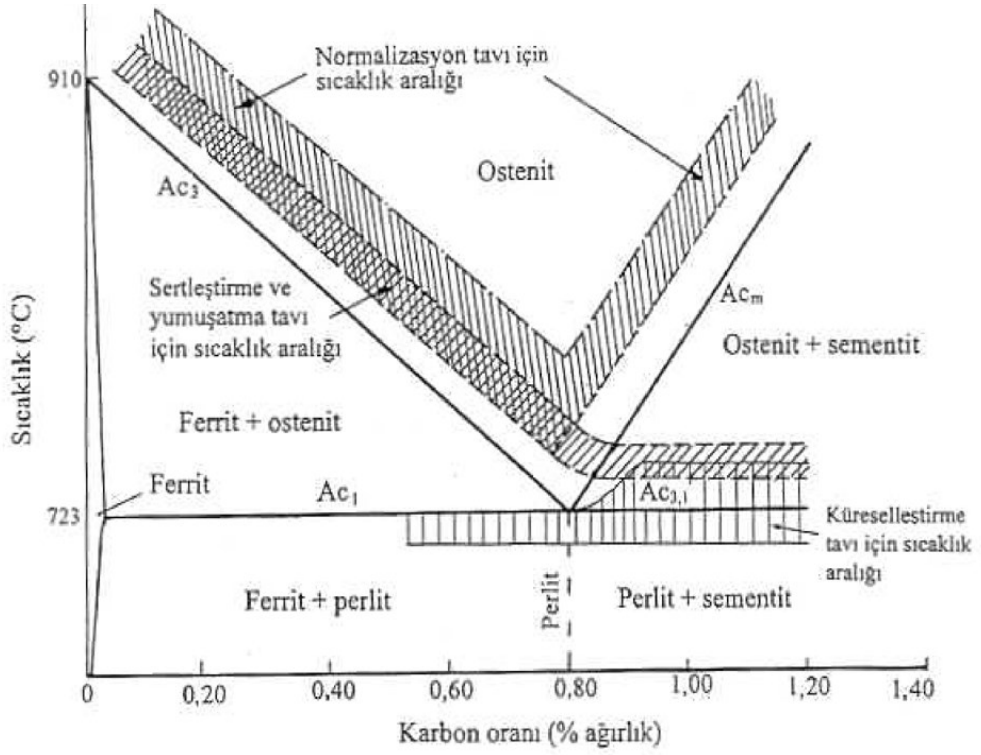
2.2. Çeliklerde Yapılan Isıl İşlemler

Isıl işlem, alaşım ya da metallerin yapılarına farklı özellikler kazandırmak için bir ya da daha fazla kez değişik sürelerde yapılan ısıtma ve soğutma işlemidir. İstenilen mekanik ve iç yapı özellikleri çeliklerde de ısıl işlem ile sağlanır. Isıl işlemin amacını istenilen çalışma ortam ve koşullarına göre malzeminin dayanımı, sertliği, tane büyüklüğü ve işlenebilirlik özelliklerinin değiştirilmesi şeklinde özetleyebiliriz. Isıl işlem yöntemlerini üç ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; tavlama, sertleştirme ve menevişleme (temperleme) işlemleridir.

2.2.1.Tavlama

Tavlama, bir tür ısıl işlemdir; metal veya alaşımların yüksek sıcaklıklarda belirli süre ile tutulması ve oda sıcaklıklarında da yavaş soğutulması işlemlerini içerir. Amaç, bileşim homojenliğini sağlamak, yapıyı yumuşatmak, iç yapıda yer alan taneleri inceltmek ya da kabalaştırmak, iç gerilimi en aza indirmek, çalışma koşullarına uyum sağlayabilecek fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek, talaş kaldırmayı veya soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmaktır. Bu yüzden, malzemenin uygun sıcaklıklara kadar ısıtılıp gerekli değişiklikler sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan da yavaş soğutulması işlemi uygulanır. Tavlama işleminden

artık gerilmelerin giderilmesinde, sünekliği ve tokluğu artırıp dayanımı düşürmede ve özel iç yapıların oluşturulmasında yararlanılır. Tavlamaları; normalizasyon tavlaması, iri tane tavlaması, yumuşatma tavlaması, gerilim giderme tavlaması, difüzyon tavlaması, yeniden kristalleşme tavlaması, hidrojen tavlaması ve küreselleştirme tavlaması başlıkları altında toplanabilir. Sertleştirme, yumuşatma, normalizasyon ve küreselleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları Şekil 2.1.'de [21] görülmektedir.



Şekil 2.1. Sertleştirme, yumuşatma, normalizasyon, ve küreselleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları [21].

2.2.2. Sertleştirme

Östenit derecesine kadar ısıtılan bir çeliğin belirli bir süre bekletildikten sonra süratli olarak soğutulması işlemidir. 3 aşamada işlem tamamlanır. Isıtma, bekleme ve soğuma işlemidir. Sertleştirme, östenitleme ve soğuma ile östenitin tamamen ya da kısmen martenzite dönüştüğü ısıl işlemdir. Genellikle % 0.25 ve daha fazla C içeren çeliklere uygulanır.

Isıtma, belirlenen bir sıcaklığa göre yapılır. Karbon oranına göre ısıtılması gerekli sıcaklık değeri değişmektedir. Ötektoid altı çelikler için uygun sıcaklık değeri Ac_3 + (30 / 50 ^oC), ötektoid üstü çelikler için uygun sıcaklık değeri Ac_1 + (30 / 50 ^oC)' dir. Ac_1 sıcaklığı, ötektoid reaksiyon sıcaklığıdır. Ac_3 sıcaklığı, ötektoid altı çeliklerde tam ostenit alanına geçiş sıcaklığıdır ve C oranına bağlı olarak değişir. Fırında bekletilme süresi malzeme kalınlığına göre belirlenir [22]. Böylece malzeme iç ve dış yapı olarak homojen östenit fazına dönüşmüş olacaktır. Son olarak soğutma işlemi yapılır. Soğuma hızının, kritik değer den daha fazla olması gerekmektedir. Değişik soğutma hızlarına göre malzeme iç ve dış yapı olarak özellik kazanır.

Çeliğin su verme sıcaklığında fırında tutma süresi;

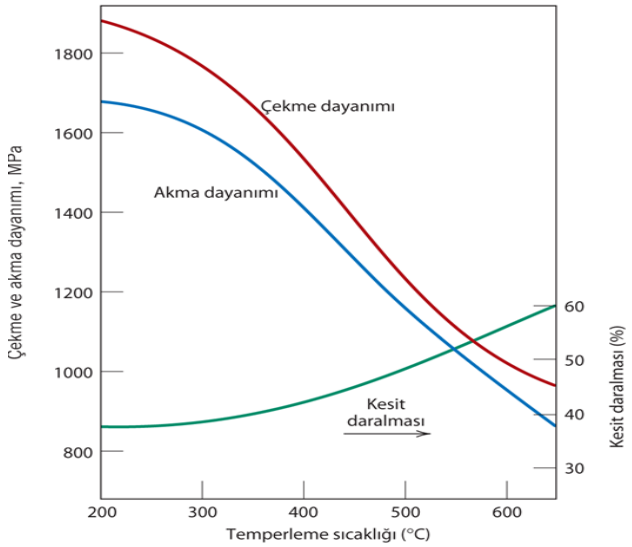
$T_{Tutma} = 20 + K / 2$ [22]

T_{Tutma} : Fırında tutma suresi

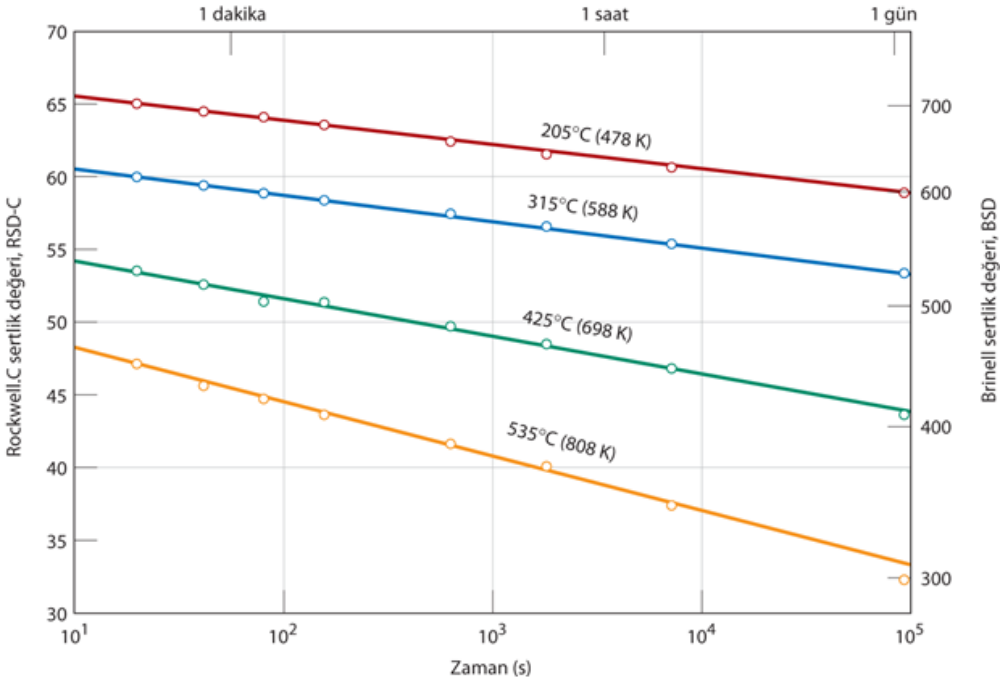
K : İş parcası kalınlığı ya da çapı (mm)

2.2.3. Temperleme

Soğutma işlemi yapılan çelik gevrek bir yapıya sahip olur. Dolayısıyla uygulama açısından bu gevrek yapı sorun teşkil eder. Temperleme işlemi ile gevrek yapıyı iyileştirmek, iç gerilmeleri azaltmak için tekrar sıcaklık işlemi uygulanır. Temperleme, su verilip sertleştirilmiş çeliklerin ötektoid sıcaklığı (723 °C) altındaki sıcaklıklarda belli bir süre ısıtılması işlemidir. Bu işlem sırasında kristal kafes içerisinde hapsedilmiş karbonun bir kısmı ayrılarak serbest karbür tanecikleri oluşturur, martensit yapı da ferrite dönüşmeye çalışır. Bu dönüşümler menevişleme sıcaklığı yükseldikçe hızlanır. Düşük sıcaklıklar parçayı yumuşatmadan gerilmeleri alır. Malzemenin sertliği ve mukavemeti sıcaklık yükseldikçe düşerek malzeme daha tok ve sünek bir yapıya sahip olur. Tüm bu özellik değişmeleri, zamanla bağlantılı oluşur (Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.) [23]. Temperleme işlemi ile çeliğin süneklik ve tokluğu artarken mukavemet ve sertlik değerleri de düşer.



Şekil 2.2. Yağda su verilen AISI 4340 çeliğinin akma ve çekme dayanımları ile kesit daralmasının temperleme sıcaklığına göre değişimi [23].



Şekil 2.3. Suda sertleştirilmiş AISI 1080 çeliğinin sertlik değerinin temperleme sıcaklığı ve işlem süresiyle değişimi [23].

2.3. Korozyon

Korozyon, metal malzemelerin içerisinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda doğal olarak meydana gelir. Eğer su bulunan ortamda gerçekleşiyor ise sulu ortam korozyonu, yüksek sıcaklıklardaki gaz ortamlarında gerçekleşiyor ise kuru ortam korozyonu olarak adlandırılır. Genel itibari ile malzemelerin, özellikle de metal ve alaşımların çevrenin etkisi ile kimyasal veya elektrokimyasal değişme ya da fiziksel çözünme sonucu aşınmasına korozyon denir [24]. Birbiriyle elektriksel ve elektrokimyasal etkileşim içerisinde olan ve aralarında potansiyel fark bulunan iki metalik bölge arasında korozyon oluşur. İki metalik bölge arasında potansiyel bakımından daha asil olanın yüzeyinde katodik tepkime meydana gelir, daha aktif olan diğer bölge ise çözünür [25].

Korozyon hızı ölçülmesinde kullanılan bazı metotlar vardır. Bunlardan en çok kullanılanılanları Tafel ekstrapolasyon ve çizgisel polarizasyon yöntemidir. Tafel ekstrapolasyon yönteminde; korozyona uğramış malzeme için anodik ve katodik Tafel eğrileri sonucuna ulaşılır. Eğrilerde yer alan çizgisel kısımlar uzatılarak, kesim noktalarından korozyon hızı i_{cor} ve korozyon potansiyeli E_{cor} bulunur. Yüksek gerilim ile uygulanan dış akım logaritmasının lineer olarak değişmiş olduğu bölgelere Tafel bölgesi denir. Tafel bölgesinde, deneysel olarak Tafel doğrusunun eğimi elde edilip bu da korozyon hızının belirlenmesi için kullanılır. Çizgisel polarizasyon yönteminde ise; güç kaynağından değişken bir direnç yardımıyla çalışma elektrodu ile karşı elektro arasında belirli potansiyeller uygulanarak bunlara karşılık gelen akım değerleri ölçülür. Bu şekilde çizilen E-I eğrileri elde edilir. Bu metotda uygulanan potansiyel değişme hızı 0.1 - 10 mV arasında olmalıdır. Potansiyel değişme hızı ne kadar yavaş olursa o kadar doğru sonuç elde edilir [26].

Korozyonun etkileri ekonomik açıdan önem arz etmektedir. Her yıl üretilen metalik malzemelerin yılsonunda yaklaşık 1/3'ü kullanılamaz hale gelir [27]. Ayrıca insan sağlığına da etkisi vardır. Korozyondan dolayı malzemede hem mekanik hem de kimyasal yapısında bozulmalar arttığından dolayı belirli bir süre sonunda kullanılamaz hale gelir ve yeni malzeme kullanılırken korozyona uğramış malzemede hurda olmaktadır.

2.4. Tezin Amacı

Bu çalışmada, östenitleme ve temperleme sıcaklığına bağlı olarak tarım ve iş makineleri alanında kullanılan bazı borlu çeliklerin korozyon direnci incelenmiştir. Tezin amacı, uygun östenitleme ve temperleme sıcaklıklarının belirlenmesiyle korozyon nedeniyle meydana gelen kayıpları azaltmaktır. Çalışma sonucunda elde edilecek bulguların sektöre aktarılmasıyla ve bunun bir sonucu olarak korozif kayıpların azaltılması yoluyla ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. Çalışma sonuçlarının özellikle tarım alet ve makineleri imalat sektöründe üretim kalitesinin artmasına ve hurda miktarının azalmasına bulgular sağlayacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Bu çalışmada, toprak işleme alet ve makineleri ve iş makineleri işleyici organlarının yapımında yaygın olarak kullanılan 34MnB5, 30MnB5 ve 27MnCrB5 borlu çelikler korozyon direnci bakımından incelenmiştir. Deneyler için ihtiyaç duyulan malzeme ilgili sektörlerde faaliyet gösteren firmalardan temin edilmiştir. Numunelerin kimyasal bileşimi Tablo 3.1.' de verilmiştir. Kimyasal içerik analizi Bruker Q4 Tasman metal spectrometre ile yapılmıştır. Kullanılan numune miktarları ve deneyler ile ilgili bilgiler Tablo 3.2.' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Malzemenin ağırlıkça % alaşım element içeriği (Fe-kalan)

Materyal	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Ti	B
34MnB5	0.295-0.356	0.211-0.222	1.279-1.295	0.016-0.017	0.208-0.211	0.012-0.013	0.042-0.044	0.018-0.019	0.033-0.051	0.039-0.040	0.0010-0.0012
30MnB5	0.256-0.320	0.255-0.262	1.266-1.290	0.014-0.015	0.217-0.218	0.010-0.011	0.045-0.047	0.016-0.017	0.038-0.040	0.041-0.043	0.0009-0.0013
27MnCrB5	0.225-0.251	0.206-0.227	0.947-0.958	0.0096-0.011	0.344-0.351	0.157-0.164	0.208-0.218	0.714-0.734	0.098-0.187	0.097-0.106	0.0013-0.0018

Tablo 3.2. Malzeme ve deneyler hakkında bilgi

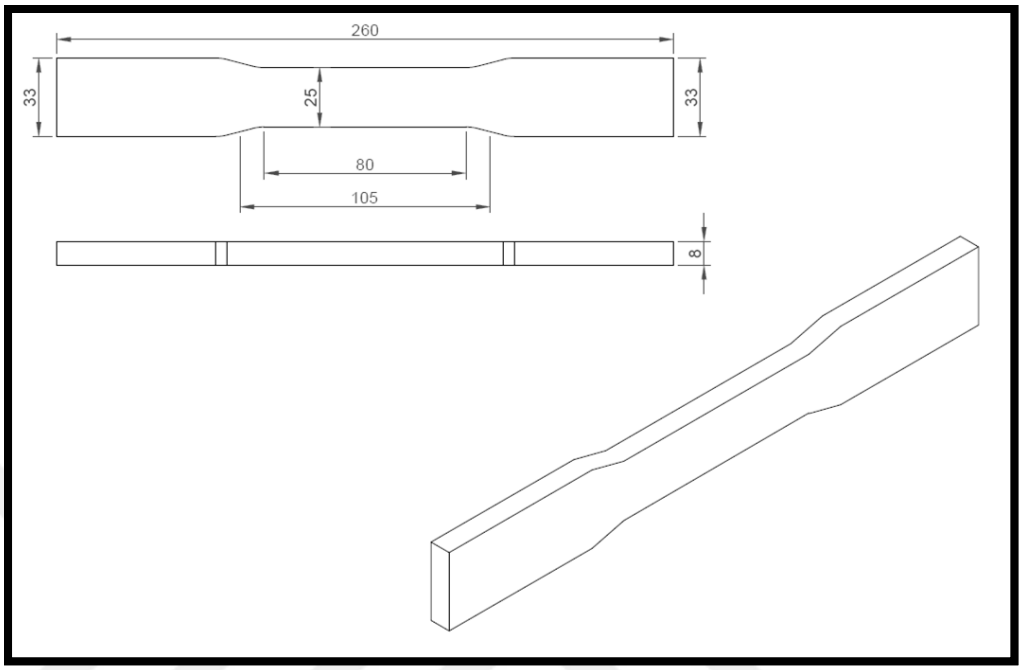
Malzeme	Çekme testi numune sayısı	Korozyon testi numune sayısı	Sertlik ve mikroyapı numune sayısı
34MnB5	30	30	10
30MnB5	30	30	10
27MnCrB5	30	30	10

3.1.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

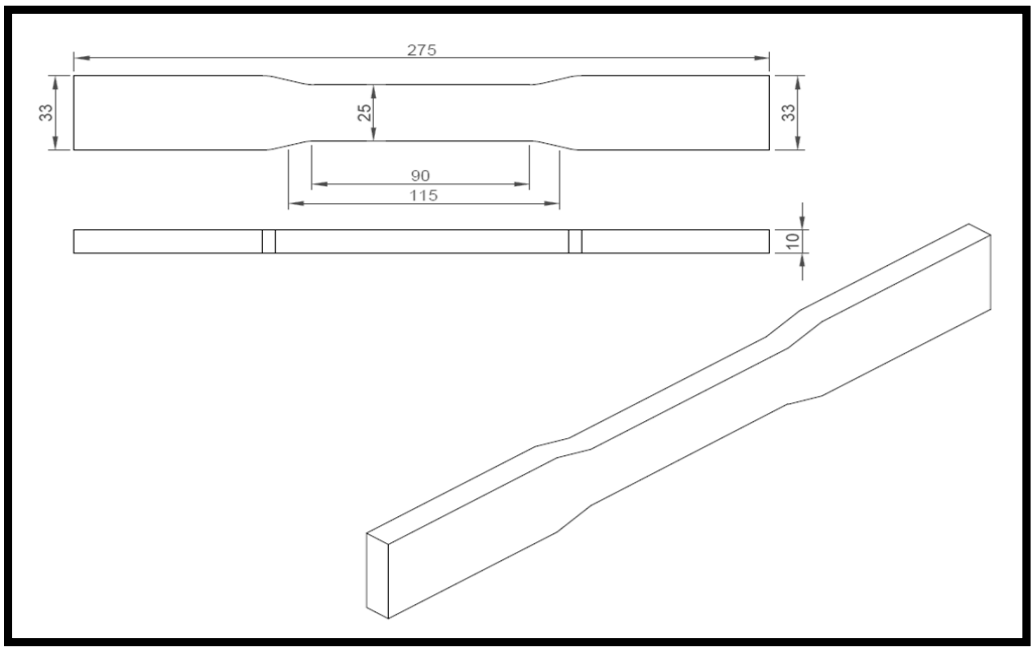
3.1.1.1. Çekme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması

Çekme deneyi numuneleri yassı çelik levhalardan TS 138 standardına göre lazerle kesilerek hazırlanmıştır. Çekme deneyi numuneleri 850 °C, 900 °C ve 950 °C' de östenitlenmiş ve 25 °C'lik su ortamına daldırılarak sertleştirilmiştir. Östenitleme süresi numune kalınlığına bağlı olarak (Süre = 20 + kalınlık / 2) 24 veya 25 dakika olarak değişmiştir. Sertleştirme işlemini takiben numuneler 150 °C, 300 °C ve 450 °C' de 30 dakika temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyi sonucunda

numunelerin, çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma gerilmesi, % üniform uzama ve % kopma uzaması değerleri saptanmıştır. Deneyler üç tekrarlı olarak yapılmıştır ve verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.1. 8 mm kalınlıktaki çekme deneyi numune boyutları.



Şekil 3.2. 10 mm kalınlıktaki çekme deneyi numune boyutları.

3.1.1.2. Metalografi Deney Numunelerinin Hazırlanması

Metalografi numunelerinin hazırlanması 4 aşamadan oluşur. Bunlar; kesme, kalıplama, parlatma ve dağlama işlemidir. Kesme işlemi esnasında malzemede en az mikroyapı değişikliğinin meydana gelmesi sağlanmalıdır. Kalıplama, uygulamada yaygın olarak "bakalite alma" olarak anılmaktadır. Mikroskobik inceleme de mükemmel hassas düz bir yüzey elde etmek, kimyasallardan korumak ve hazırlama işlemini kolaylaştırmak açısından önemlidir. Zımparalama ve parlatma, kalıplanmış numunelerin mikroskobik incelemeye uygun hale getirilmesi için gereklidir. Yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde edilmesinin sağlandığı evre parlatma evresidir. Zira metal mikroskopları numune yüzeyinden yansıyan ışınları incelemektedir. Ayrıca, daha önceki işlemlerde yüzey bölgesinde meydana gelen deformasyonlar da azaltılır. Bu yüzden, hassas bir işlem olan parlatma evresinin her adımında daha ince aşındırıcılar kullanılmakta, baskı kuvveti ve makinenin dönme hızı genellikle adım adım azaltılmaktadır. Yüzeyler parlatıldığı zaman ışığı eşit miktarda yansıtır ve yapının detayları gözlenemez; bu yüzden yapıda kontrast oluşturmak gerekir, bunun için de dağlama işlemi yapılır. Parlatılmış yüzeylerde iç yapı incelemelerinin çoğu, yüzeye uygun bir kimyasal çözelti ile muamele edilmesi (dağlama) sonrasında yapılır. Dağlama işlemi; tanecik boyutu, deformasyon yapısı, segregasyon, iç yapı, sementasyon-nitrasyon derinlik miktarları ve dekarbürizasyon gibi birçok parametrenin incelenmesi için gereklidir.

Isıl işlem görmüş numunelerin parlatılmasında 400, 600, 1000 ve 1200 mesh su zımparaları sırasıyla kullanılmıştır. Dağlayıcı olarak % 2 nital (% 98 etil alkol, % 2 HNO_3) kullanılmıştır. Parlatılan numuneler 10 s boyunca dağlanmıştır. NikonEpiphot 200 optik mikroskop ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Kullanılan bilgisayar programı Nis elementtir.

3.1.1.3. Korozyon Deneyi Numunelerinin Hazırlanması

Korozyon numuneleri 60 mm çapında çelik levhalardan kesilmiştir. Kesilen numunelere çekme deney numunelerine uygulanan ısıl işlemler aynen uygulanmıştır. Isıl işlem sonrası numuneler, mikroyapı incelemesinde yapıldığı gibi parlatılmış, sadece dağlanmamışlardır.

3.1.1.4. Sertlik Ölçme Deney Numunelerinin Hazırlanması

Sertlik tayini için ısıl işlem uygulanan numunelerden parçalar kesilmiştir. Kesilen parçalar mikroyapı incelemesinde yapıldığı gibi parlatılmış, sadece dağlanmamışlardır.

3.1.1.5. Metal Spectro ve XRD Deney Numunlerinin Hazırlanması

Metal spektrometre ve X-ışını kırınımı (XRD) ölçümüne maruz kalan örnekler, metalografi deneyi ile aynı şekilde hazırlanmış olup sadece dağlama işlemi yapılmamıştır. XRD analizi ferritik fazları (ferrit, beynit, martenzit) birbirinden ayırmaz ve XRD analiz ile ferritik fazların toplamı ve kalinti ostenit belirlenebilir.

3.2. Yöntemler

3.2.1. Yapılan ısıl işlemler

Isıl işlem deneyleri Manisa Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu MYO' da yer alan ısıl işlem laboratuarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Isıl işlem fırını ve numuneler.

Literatürde Ac_3 sıcaklığının belirlenmesine yönelik çeşitli eşitlikler bulunmaktadır. Bunlar;

Andrews (1965) göre [28]:

Ac_3 (°C) = 910 – 203 $C^{1/2}$ + 44.7 Si – 15.2 Ni + 31.5 Mo + 104.4 V + 13.1 W

Hougardy (1984) göre [29]:

Ac_3 (°C) = 902 – 255 C + 19 Si – 11 Mn – 5 Cr + 13 Mo – 20 Ni + 55 V

Trzaska and Dobrzaski (2007) göre [30]:

Ac_3 (°C) = 973 – 224.5 $C^{1/2}$ – 17 Mn + 34 Si – 14 Ni + 21.6 Mo + 41.8 V – 20 Cu

Hougardy (1984) eşitliğine göre [29], Ac_3 sıcaklığı 34MnB5 çeliği için yaklaşık 803 °C, 30MnB5 çeliği için 817 °C ve 27MnCrB5 çeliği için yaklaşık 830 °C' dir. Trzaska and Dobrzaski (2007) eşitliğine göre [30], bu değerler sırasıyla 827 °C, 838 °C ve 840 °C' dir. Östenitleme sıcaklığı bu değerler ve çelik üretici firmaların katalog değerleri dikkate alınarak teorik Ac_3 sıcaklığı üzerinde 850 °C, 900 °C ve 950 °C olarak seçilmiştir.

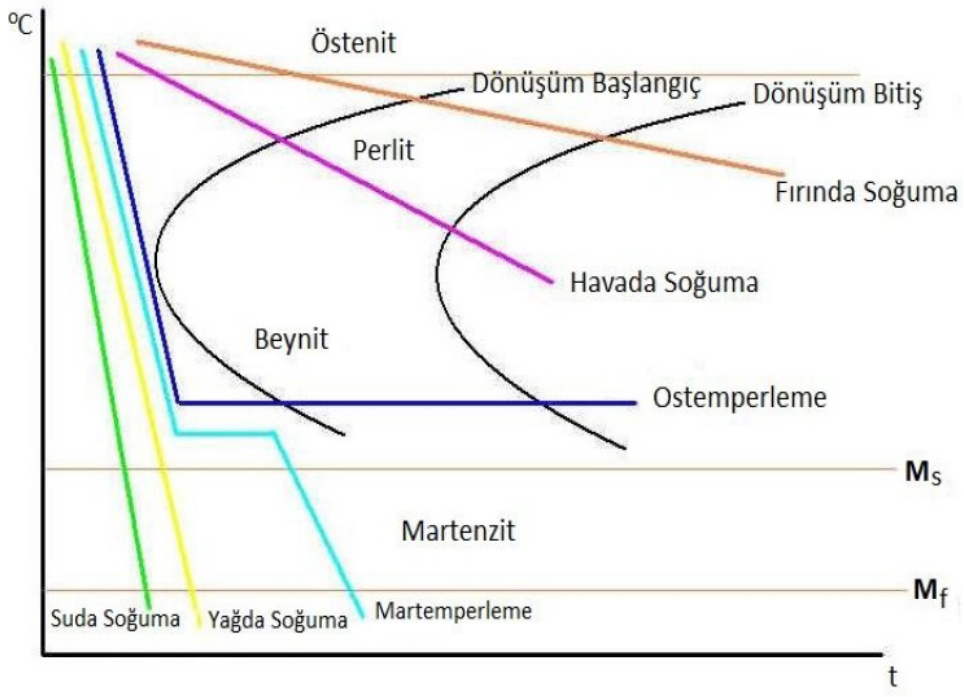
Her bir malzeme için (34MnB5, 30MnB5 ve 27MnCrB5) 30'ar adet çekme deney numunesi, 30'ar adet korozyon deney numunesi hazırlanmıştır. Çekme ve korozyon deney numuneleri 850 °C, 900 °C ve 950 °C sıcaklıkta östenitleştirilip (süre = 20 + kalınlık / 2), oda sıcaklığındaki suda sertleştirilmiştir. 27MnCrB5 çeliğinin kalınlığı 8 mm olduğu için östenitleştirme için fırında tutulma süresi 24 dakika olmuştur. 30MnB5 ve 34MnB5 çeliklerinin kalınlığı 10 mm olduğu için östenitleştirme için fırında tutulma süreleri 25 dakika olmuştur. Sertleştirilen numuneler 150 °C, 300 °C ve 450 °C' de 30 dakika temperleme işlemine tabii tutulmuştur. Temperleme işleminde fırından alınan numuneler normal oda koşullarında soğumaya bırakılmıştır. 3'er adet çekme ve korozyon deney numunesine ısıl işlem uygulanmamıştır.

Yapılan çalışmada sertleştirme işleminin amacı, tamamen martenzitik bir yapı elde etmektir. Martenzitik bir yapı elde edilebilmesi için, malzemenin östenitleme işleminden sonra, kritik soğuma hızı adı verilen bir değerden daha yüksek hızlarda

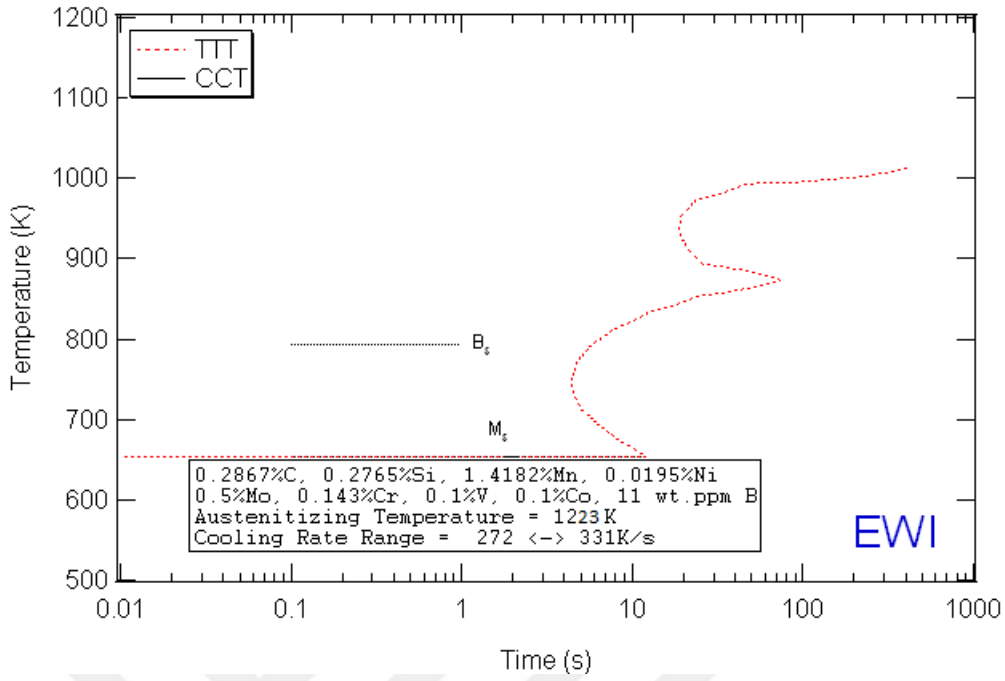
soğutulması gerekir. Kritik soğuma hızı, tamamen martenzitik bir yapı elde etmek için gerekli en düşük soğuma hızıdır. Martenzit, karbon ile aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya sahiptir. Martenzitik dönüşümün başlangıç sıcaklığı Ms, bitiş sıcaklığı ise Mf harfleri ile gösterilir. Denemeye alınan çelikler için Ms sıcaklığı aşağıdaki verilen formüle göre, yaklaşık olarak 30MnB5 çeliği için 377 °C, 34MnB5 çeliği için 359 °C ve 27MnCrB5 çeliği için 389 °C olarak bulunmuştur.

Ms = 521 - 353C - 22Si - 24.3Mn - 7.7Cu - 17.3Ni - 17.7Cr - 25.8Mo [31]

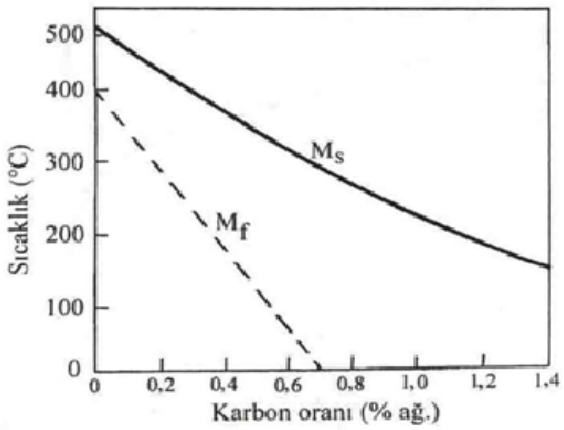
Sabit sıcaklıkta zamanın fonksiyonu olarak ostenitin dönüşümünü gösteren izotermal dönüşüm diyagramı (ZSD veya TTT diyagramı) Şekil 3.4.' te, 30MnB5 çeliğinin hızlı soğutulması durumunda tahmini olarak elde edilen TTT diyagramı Şekil 3.5.' de verilmiştir. Yapılan çalışmada östenitleme işlemini takiben fırından alınan numuneler hızlıca oda sıcaklığındaki suda sertleştirildiği için mikroyapıların martenzite dönüşmesi beklenmektedir. Çeliklerde karbon oranının Ms ve Mf sıcaklıklarına etkisi Şekil 3.6.' da verilmiştir. Sertleştirilen parçaların gevrekliğini gidererek tok bir yapı elde etmek amacıyla temperleme (menevişleme) işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.4. Zaman-sıcaklık-dönüşüm (TTT) diyagramı [32].



Şekil 3.5. 30MnB5 çeliğinin hızlı soğutulması durumunda tahmini olarak elde edilen TTT (zaman- sıcaklık- dönüşüm) diyagramı.



Şekil 3.6. Çeliklerde karbon oranının Ms ve Mf sıcaklıklarına etkisi [33].

3.2.2. Mikroyapı Fotoğraflarının Çekilmesi

Mikroyapı fotoğrafları NIKON EPIPHOT 200 optik mikroskop ve NIS-ELEMENTS yazılımı kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7. NikonEpiphot 200 optik mikroskop.

3.2.3. Sertlik Dağılım Profilinin Belirlenmesi

Numunelerin sertlik dağılım profili MITUTOYO HM-112 cihazıyla Vickers metoduna göre ASTM E92'ye göre yapılmıştır [34]. Sertlik ölçmede kullanılan yük 10 N olup, yük 10 s süre ile uygulanmıştır.

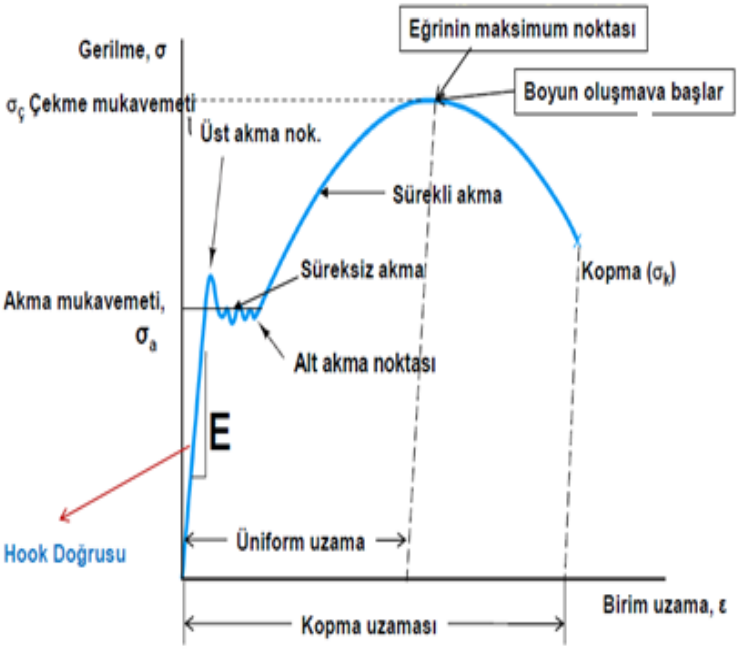


Şekil 3.8. Mitutoyo HM cihazı.

3.2.4. Çekme Deneylerinin Yapılması

Çekme deneyi; deney numunesi tek eksende, sabit kabul edilecek bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparılıncaya kadar çekilmesi işlemidir. Bu işlem sonucunda, çekme dayanımı, akma dayanımı, yüzde uzama, kesit daralması, elastisite modulü vb. malzeme özellikleri elde edilir (Şekil 3.9.). İlk olarak Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Makine Mühendisliği laboratuarında çekme deneyleri yapılmaya çalışılmıştır. Ancak, numuneler hem borlu malzeme olduklarından hem de ısıl işlem yapıldığından dolayı mukavemet değerleri artmıştır. Bu yüzden çekme makinesinin kapasitesi numuneyi kopartma konusunda yetersiz kalmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuarında numunelere çekme testi yapılmıştır. Çekme deneyleri TS EN ISO 6892-1 göre yürütülmüştür [35]. Deney 10 mm/s çekme hızıyla yapılmıştır. Cihaz modeli ise Shimadzu uh-f500knx'dir (Şekil 3.10.).



Şekil 3.9. Düşük karbonlu çelik için gerilme-birim uzama eğrisi.



Şekil 3.10. Çekme deneyinin yapıldığı Shimadzu uh-f500knx çekme makinesi.

3.2.5. Tane Büyüklüğünün Belirlenmesi

Mikroyapı görüntülerinden çizgi kesişim metodu kullanılarak ASTM E112-12 standardına göre [36] tane büyüklüğü hesaplaması yapılmıştır. Her bir numune görüntüsü üzerinde rasgele olacak şekilde en az 10 adet doğrusal çizgi çizilmiştir. Çizgilerin üzerinden geçtiği tane sayısı hesaplanmıştır. Ardından aşağıda belirtilen yöntem ile ortalama tane büyüklüğü ve tane büyüklüğü aralığı hesaplanmıştır.

Ortalama tane büyüklüğü; çizilen doğrusal çizginin gerçek boyutunun, tane sayısına oranıdır. Gerçek çizgi boyutu; fotoğraftaki çizgi boyunun, fotoğraf büyütme

miktarına oranıdır. Büyütme miktarı ise fotoğraftaki ölçek skala uzunluğunun, ölçek skalasına bölünmesi ile bulunmuştur.

Ortalama tane büyüklüğü (mm) = Gerçek çizgi boyu (mm) / Tane sayısı
Gerçek çizgi boyu (mm) = Fotoğraftaki çizgi boyu (mm) / Büyütme miktarı
Büyütme miktarı = Fotoğraftaki ölçek skala uzunluğu (mm) / Ölçek skalası (μm)

3.2.6. Kalıntı Östenit Miktarının Belirlenmesi

X - ışını difraksiyon (XRD) ölçümleri Cr - Kα radyasyonu ile yapılmıştır. X - ışını difraksiyon ölçümleri, 40 kV'luk bir voltajda Cr - Kα radyasyonu ve 40 mA'lık akım ile ASTM E975 - 13'e göre belirlenmiştir [37]. Tarama açısı (2θ, °), tarama aralığı 75 – 170 ° ve adım genişliği 0.025 ° ve tarama hızı 0.5 ° min^{-1} idi. Fazların oranları elde edilen XRD profilinden Rietveld analizi ile belirlenmiştir [38].

3.2.7. Korozyon Karekteristiklerinin Belirlenmesi

Korozyon akımı yoğunluğu ve diğer elektrokimyasal parametrelerini elde etmek için Tafel ekstrapolasyon yöntemi kullanılmıştır. Korozyon aşınma davranışı Autolab PGSTAT 128 N Potansiyostat-Galvanostat ve NOVA 1.10 programı kullanılarak belirlenmiştir. Elektrokimyasal ölçümler için üç elektrotlu bir hücre kullanılmıştır. Deney düzeneğinde, 60 mm çapında ve 706.5 $mm^{2'}$ lik açık yüzey alanına sahip deney numuneleri bir de çalışma elektrotu kullanılmıştır. Sayaç elektrot olarak bir platin tel, referans elektrodu olarak bir Ag / AgCl elektrot kullanılmıştır. Akım–potansiyel diyagramları ağırlıkça % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde ve Ag / AgCl elektrotuna bağlı olarak -800 ila -300 mV potansiyel aralığında kaydedilmiştir. Korozyon akımı yoğunluğunu ve diğer elektrokimyasal parametreleri elde etmek için Tafel ekstrapolasyon yöntemi kullanılmıştır [39].

Korozyon karekteristiklerinin hesaplanmasında program aşağıdaki formülleri esas almaktadır;

$R_{cor} = (J_{cor}. K . EW) / d$
$R_{cor} = (i_{cor}. K . EW) / (d.A)$

Formüllerde;

i_{cor} (mA) : Korozyon akım değeri

J_{cor} (μA / cm^2) : Korozyon akım yoğunluğu

R_{cor} (mm / year) : Korozyon hızı

K : Korozyon hız sabiti

EW : Ekivalent ağırlık

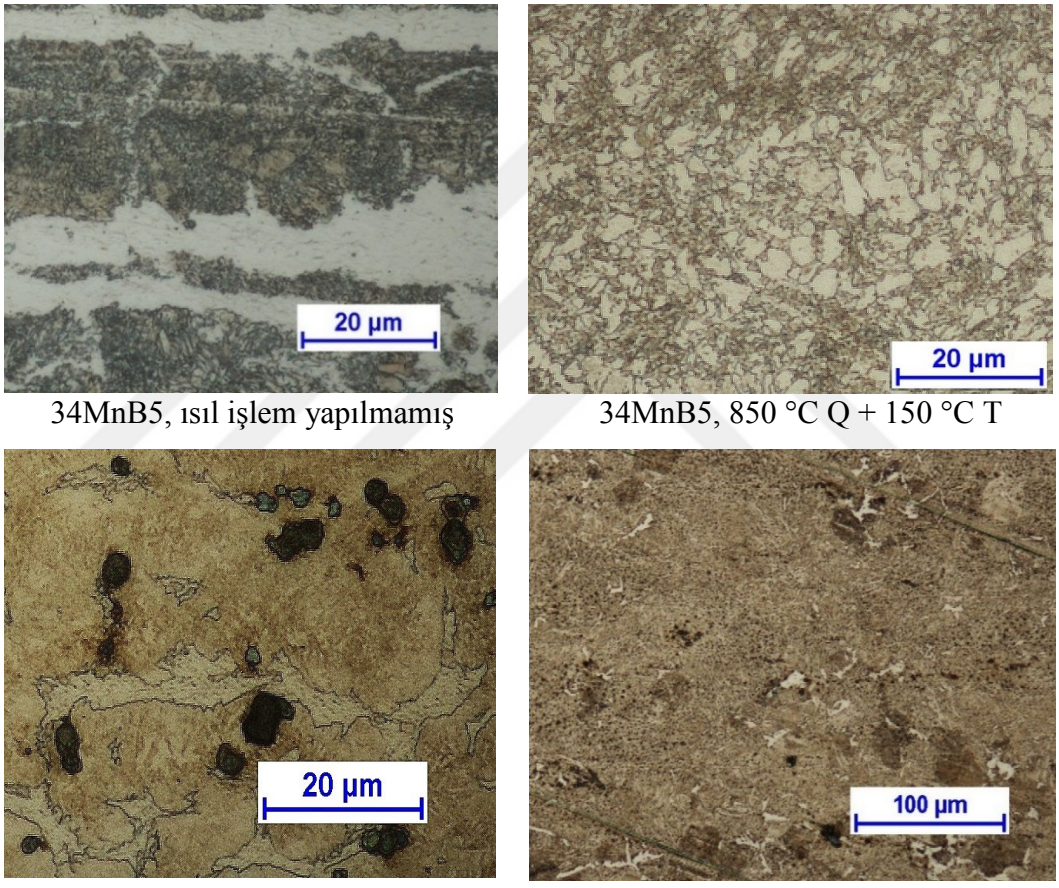
d (g / cm^3) : Yoğunluk

A (cm^2) : Alan

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları

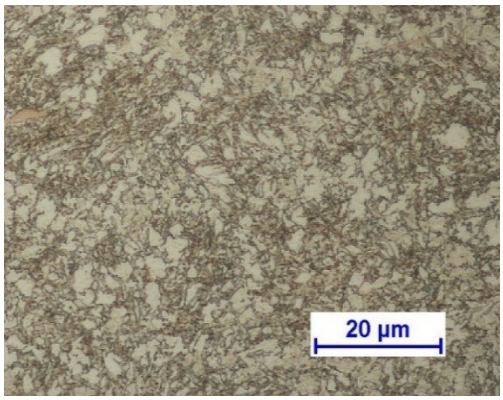
Isıl işlemler sonrası numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere sertleştirilmiş ve temperlenmiş numunelerde mikroyapı temperlenmiş martenzittir. Isıl işlem görmemiş numunelerde mikroyapı ferrit (açık renkli kısımlar) ve perlitten (koyu renkli kısımlar) oluşmaktadır.



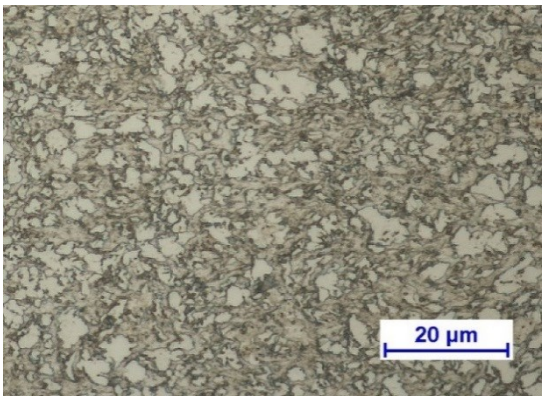
34MnB5, ısıl işlem yapılmamış | 34MnB5, 850 °C Q + 150 °C T

34MnB5, 850 °C Q + 300 °C T | 34MnB5, 850 °C Q + 450 °C T

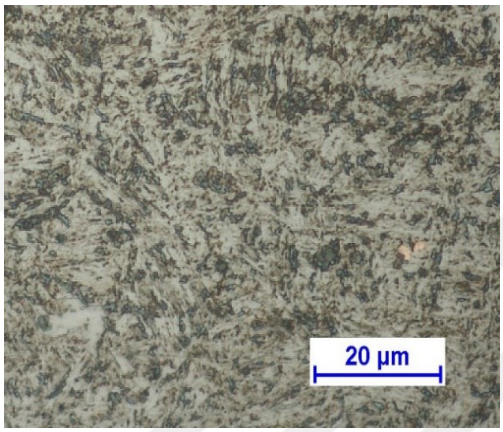
Şekil 4.1. 34MnB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



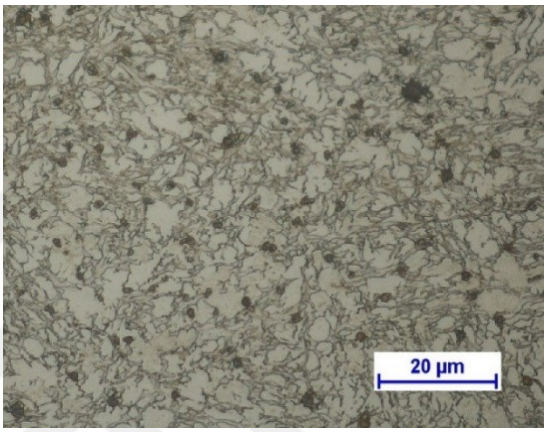
34MnB5, 900 °C Q + 150 °C T



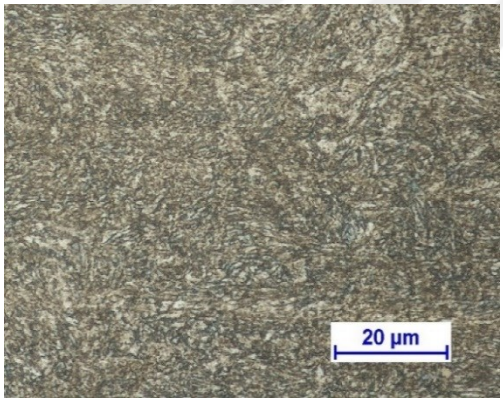
34MnB5, 900 °C Q + 300 °C T



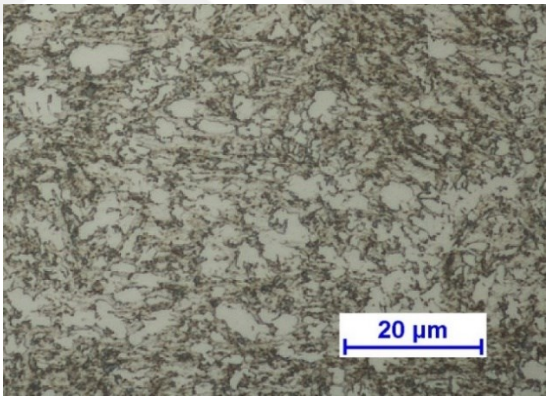
34MnB5, 900 °C Q + 450 °C T



34MnB5, 950 °C Q + 150 °C T

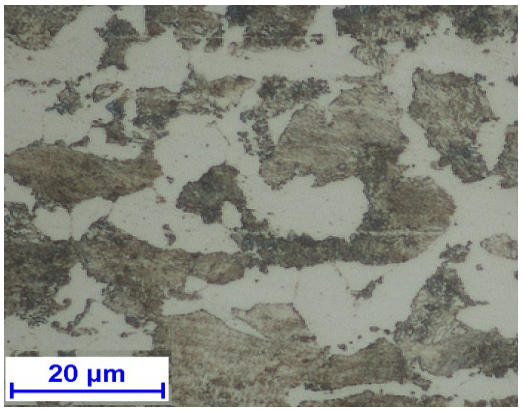


34MnB5, 950 °C Q + 300 °C T

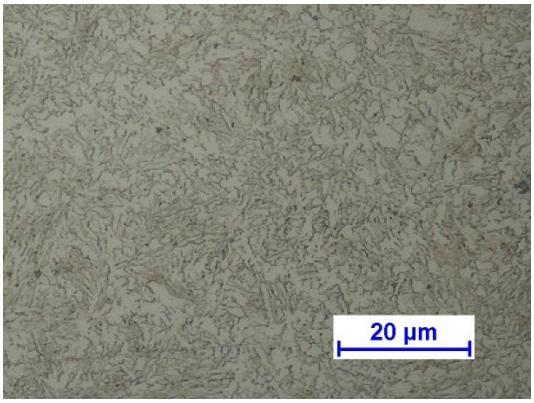


34MnB5, 950 °C Q + 450 °C T

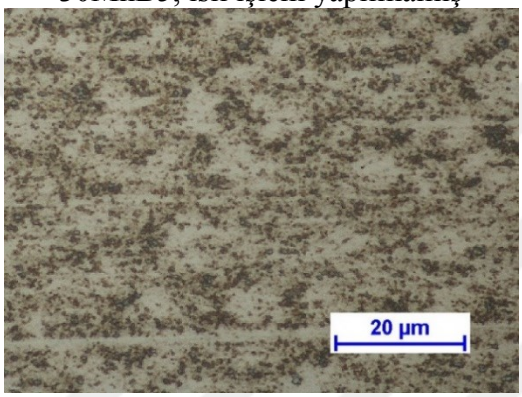
Şekil 4.1. 34MnB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları - devam (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



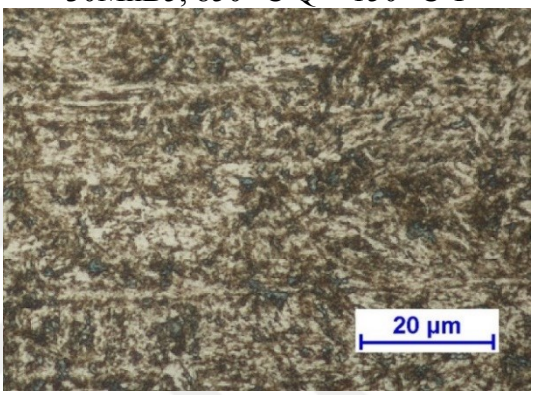
30MnB5, ısıl işlem yapılmamış



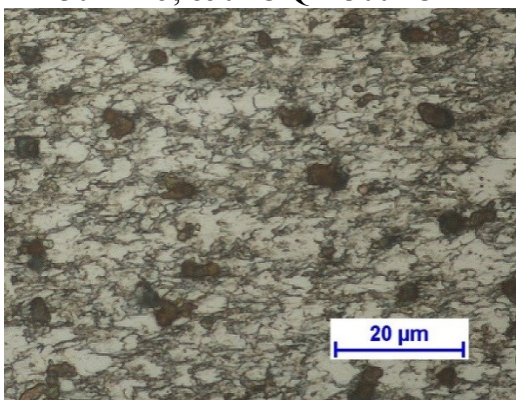
30MnB5, 850 °C Q + 150 °C T



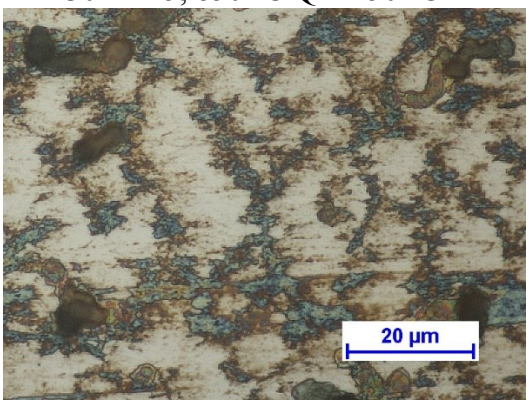
30MnB5, 850 °C Q + 300 °C T



30MnB5, 850 °C Q + 450 °C T

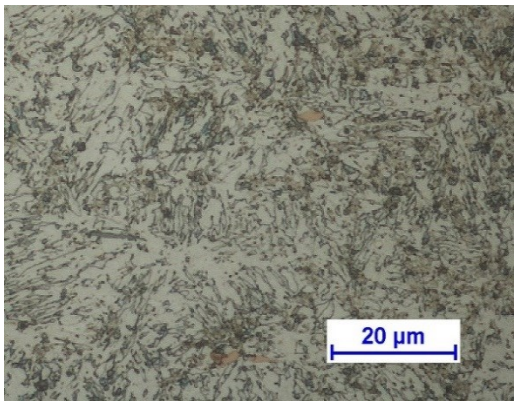


30MnB5, 900 °C Q + 150 °C T

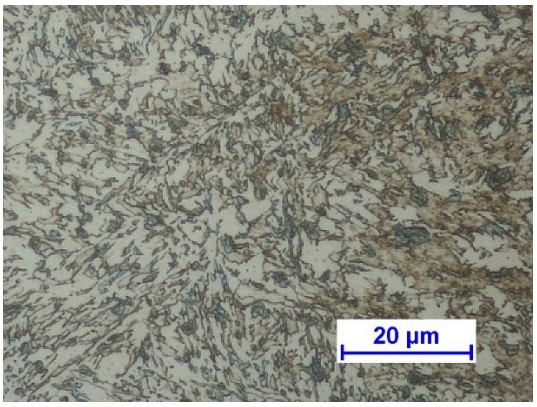


30MnB5, 900 °C Q + 300 °C T

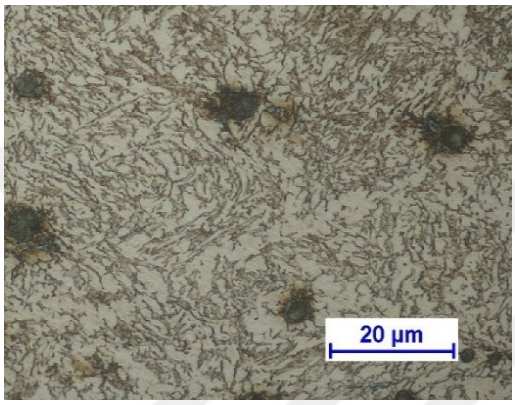
Şekil 4.2. 30MnB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



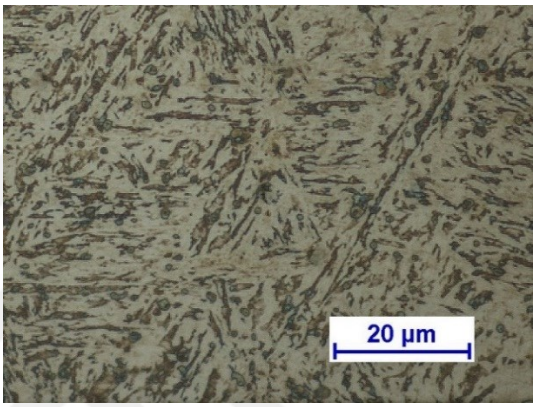
30MnB5, 900 °C Q + 450 °C T



30MnB5, 950 °C Q + 150 °C T

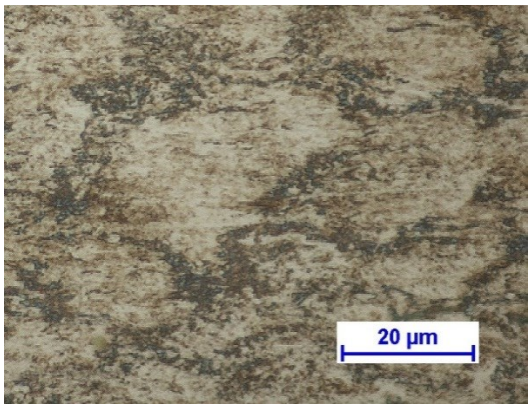


30MnB5, 950 °C Q + 300 °C T

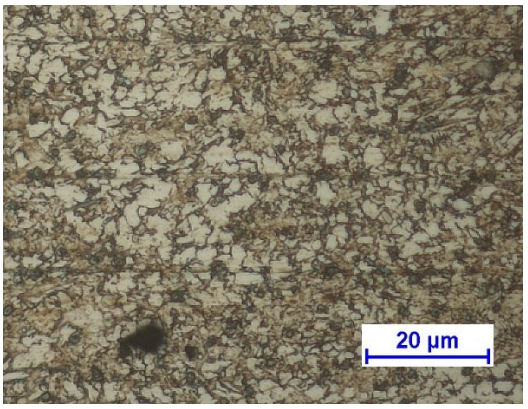


30MnB5, 950 °C Q + 450 °C T

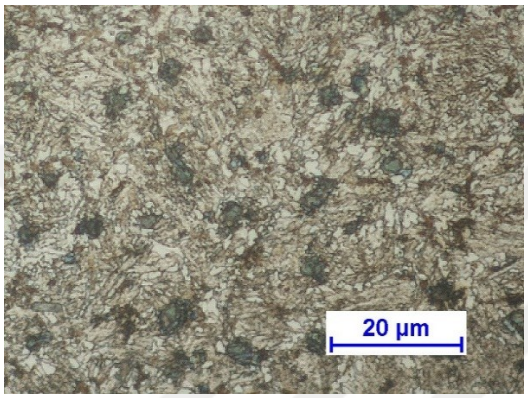
Şekil 4.2. 30MnB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları - devam (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



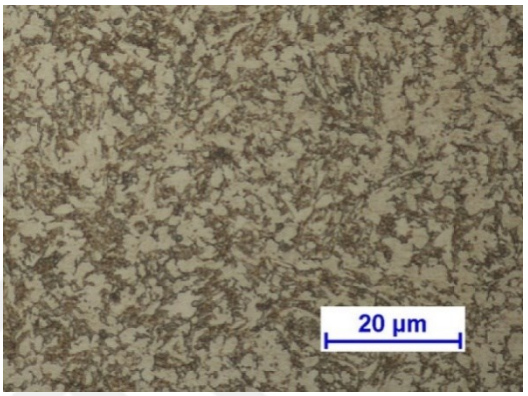
27MnCrB5, ısıl işlem yapılmamış



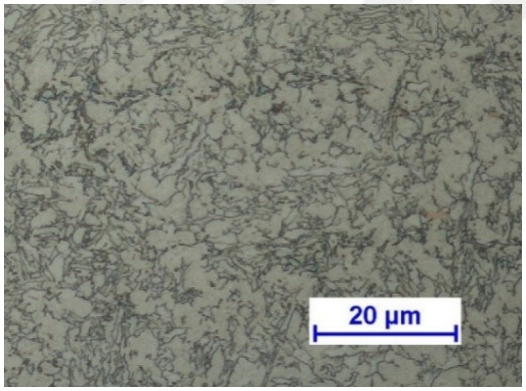
27MnCrB5, 850 °C Q + 150 °C T



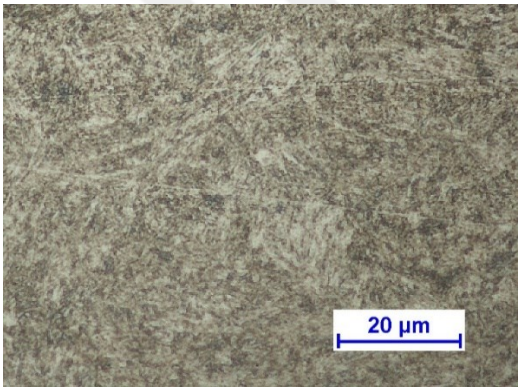
27MnCrB5, 850 °C Q + 300 °C T



27MnCrB5, 850 °C Q + 450 °C T

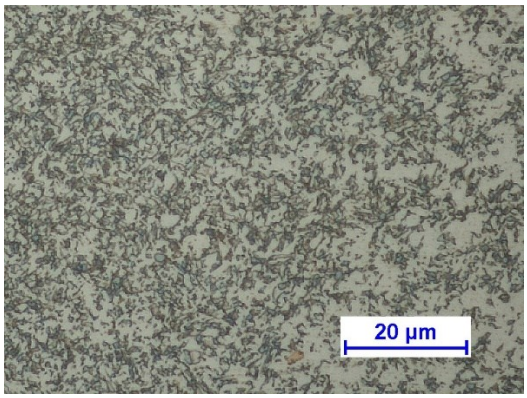


27MnCrB5, 900 °C Q + 150 °C T

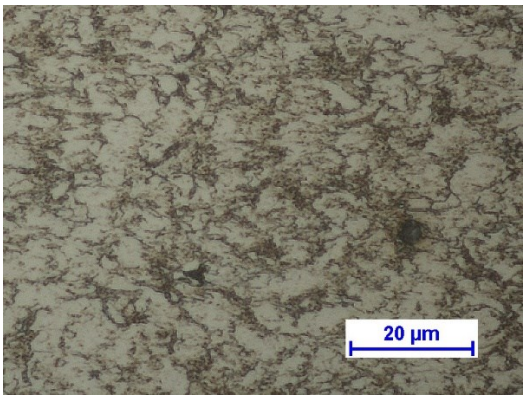


27MnCrB5, 900 °C Q + 300 °C T

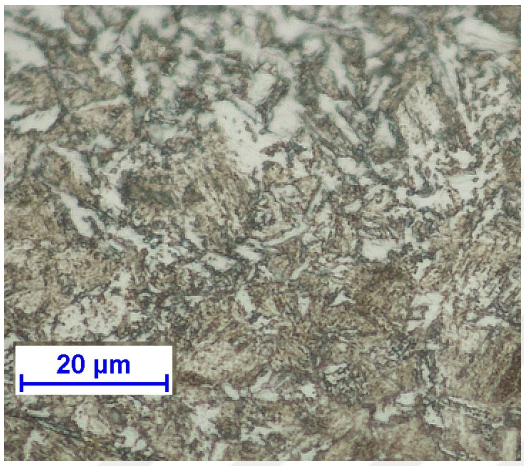
Şekil 4.3. 27MnCrB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



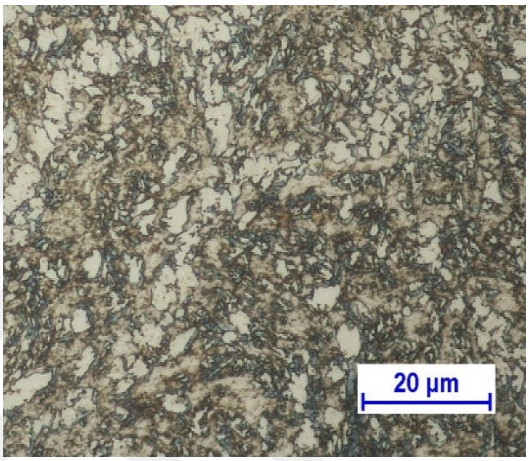
27MnCrB5, 900 °C Q + 450 °C T



27MnCrB5, 950 °C Q + 150 °C T



27MnCrB5, 950 °C Q + 300 °C T



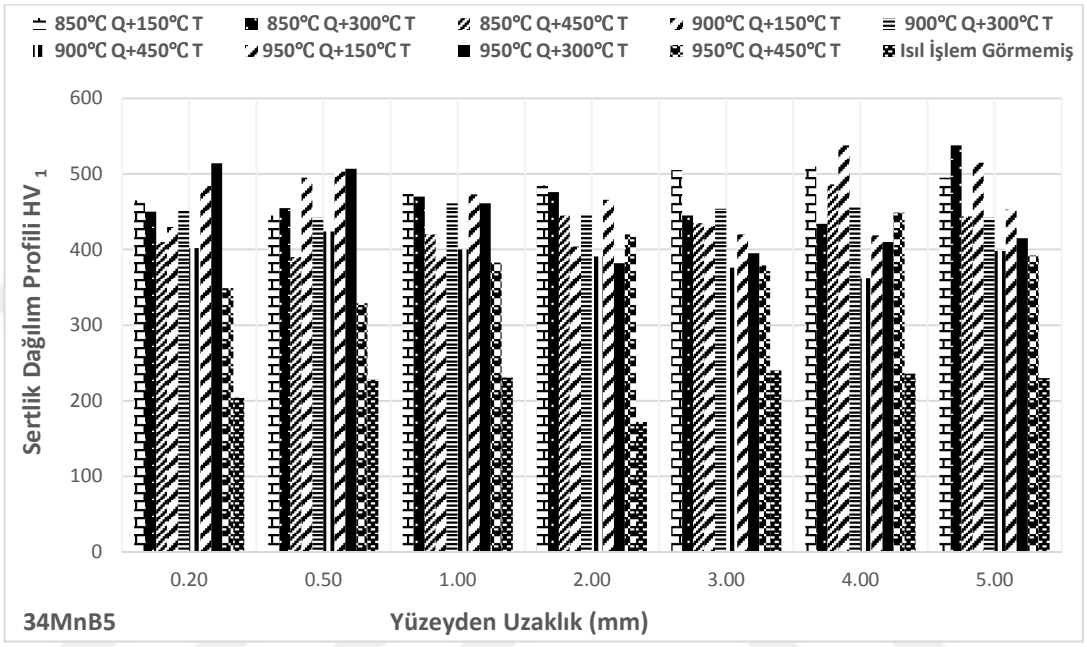
27MnCrB5, 950 °C Q + 450 °C T

Şekil 4.3. 27MnCrB5 çeliğinin mikroyapı fotoğrafları - devam (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

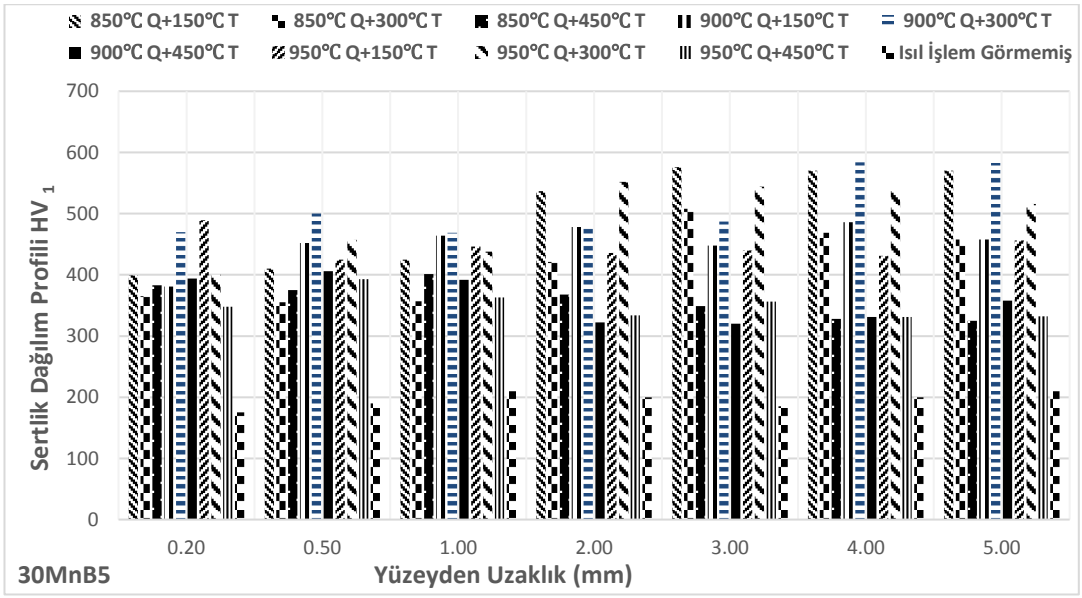
4.2.Numunelerin Sertlik Dağılım Değerleri

Isıl işlemler sonrası numunelerin sertlik dağılım profilleri Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. Genel olarak östenitleme ve temperleme sıcaklığının artması ile sertliğin azalması beklenmektedir. Tüm ısıl işlem görmüş numunelerde en düşük ortalama sertlik değeri 450 °C' de yapılan temperleme işleminde elde edilmiştir. Temperleme sıcaklığının artması 30MnB5 çeliği hariç diğer numunelerde yumuşamaya, sertliğin düşmesine yol açmıştır. 30MnB5 çeliğinde 900 ve 950 °C' de yapılan sertleştirmeyi takiben yapılan 300 °C'deki temperleme işleminde ortalama sertliğin yükseldiği görülmüştür. Sertliğin yükselmesi nedeniyle, bu temperleme sıcaklığının bu çelikte temper gevrekliğine yol açtığı düşünülmektedir. Bilindiği üzere, 250 - 325 °C aralığındaki temperleme kademesinde kalıntı östenitin (γ- Fe) beynit ya da martenzite dönüşmesi söz konusudur. Bu dönüşüm nedeniyle bu çelikte 300 °C'de

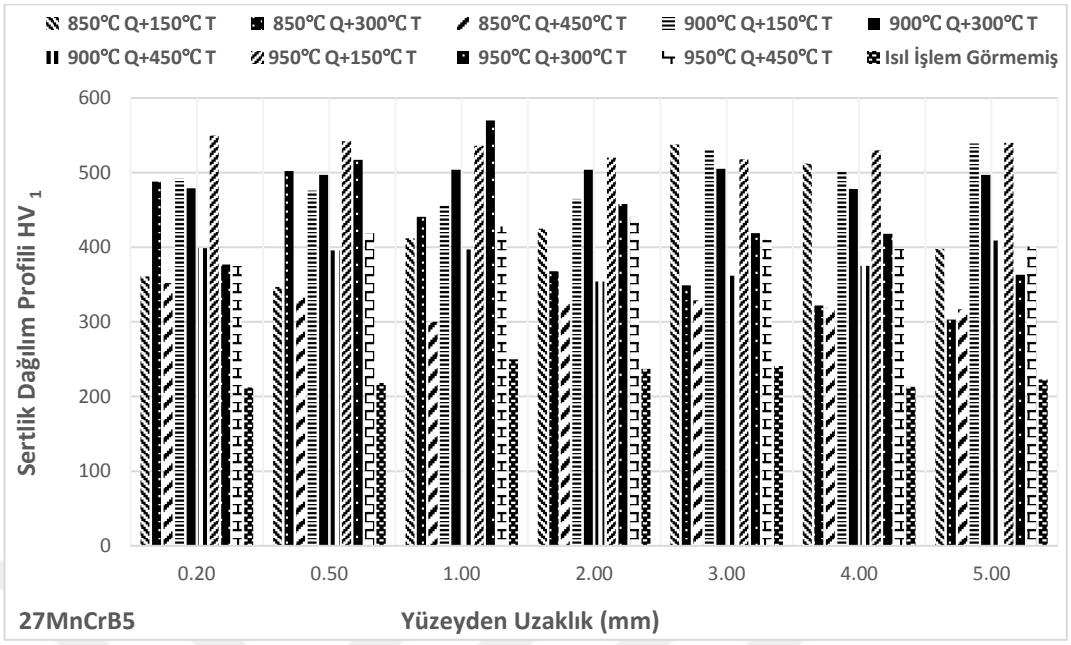
yapılan temperleme işleminde sertliğin arttığı düşünülmektedir. Beklenildiği üzere artan sertleştirme ve temperleme sıcaklığı 34MnB5 çeliğinde ortalama sertliği düşürmüştür. Beklenilenin aksine 27MnCrB5 çeliğinde 900 °C ve 950 °C yapılan östenitlemelerde sertliğin 850 °C yapılan östenitleme sıcaklığına göre bir miktar yükseldiği saptanmıştır.



Şekil 4.4. 34MnB5 çeliğinin sertlik dağılım profili.



Şekil 4.5. 30MnB5 çeliğinin sertlik dağılım profili.



Şekil 4.6. 27MnCrB5 çeliğinin sertlik dağılım profili.

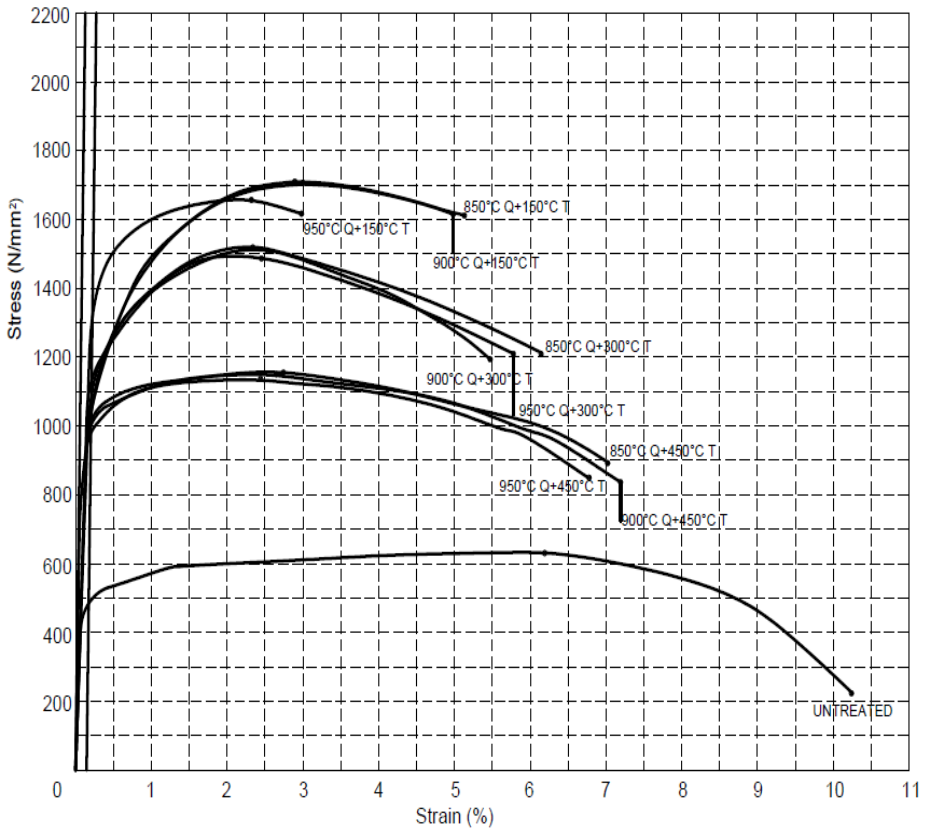
4.3. Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Numunelerin çekme değerlerine ilişkin veriler Tablo 4.1., Şekil 4.7., Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.' da verilmiştir. Tablo 4.1., Şekil 4.7., Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.' dan görüleceği üzere, sertleştirme ve temperleme sıcaklığındaki artışın, çekme gerilmesi, akma gerilmesi (Rp0.2) ve kopma gerilmesi değerlerinde düşüşe neden olduğu saptanmıştır. En yüksek çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi değerleri 150 °C'de yapılan temperleme işleminde elde edilmiş, bunu sırasıyla 300 °C ve 450 °C' de yapılan temperleme işlemleri takip etmiştir. Tablo 4.1., Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'dan görüleceği üzere, çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi değerleri üzerinde, temperleme sıcaklığının etkisinin östenitleme sıcaklığının etkisinden daha etkili olduğu belirlenmiştir. Temperleme sıcaklığının çekme gerilmesi üzerindeki etkisi, akma gerilmesi üzerindeki etkisinden daha belirgindir. Bu sonuç literatürle uyumludur [40, 41].

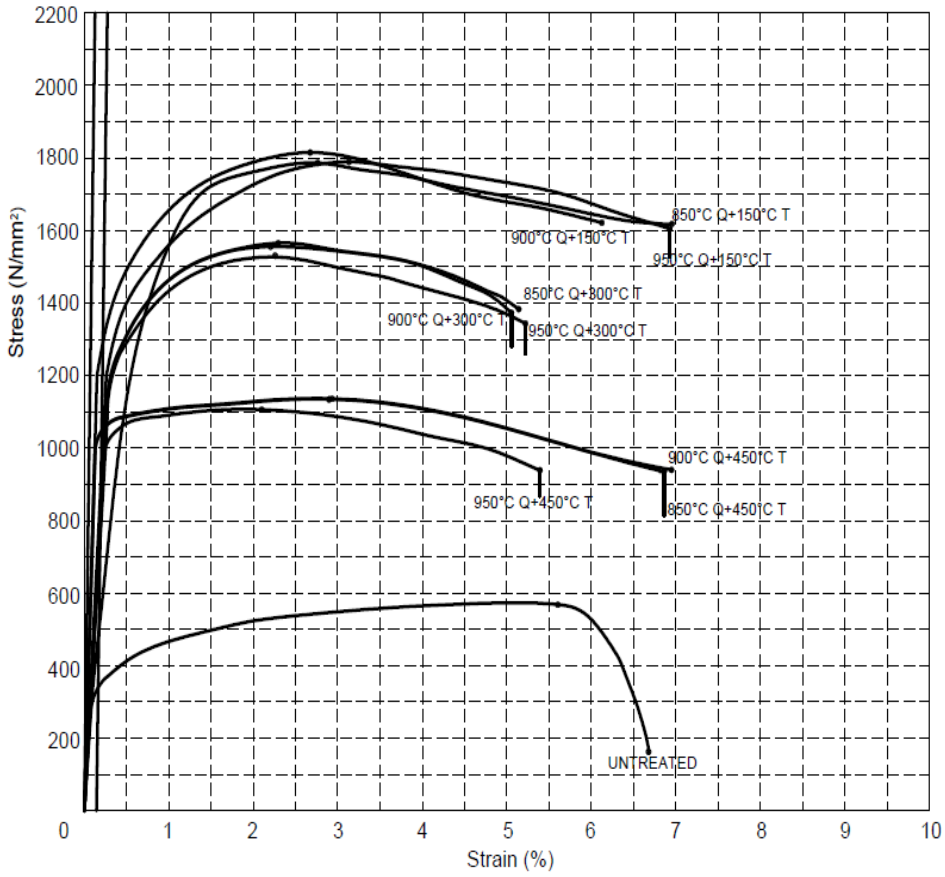
Temperleme sıcaklığı arttıkça kopma uzamasının (%) arttığı saptanmıştır. Diğer bir deyişle, temperleme sıcaklığının artışıyla süneklik artmaktadır. Çekme deneyinde koparılan numuneler Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çekme deneyi sonuçları

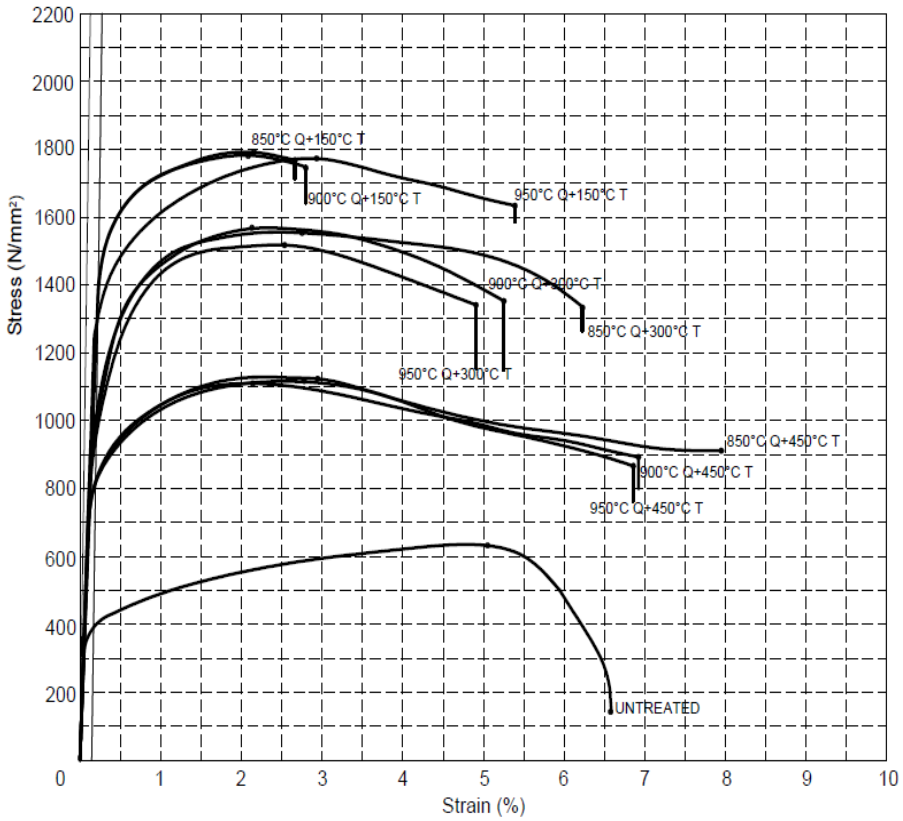
Malzeme	Isıl işlem (Q: Sertleştirme, T: Temperleme)	Çekme gerilme (MPa)	Akma gerilmesi (Mpa)	Kopma gerilmesi (Mpa)	Kopma uzaması (%)	Üniform uzama (%)
27MnCrB5	850 °C Q + 150 °C T	1716.95	1373	1612.2	5.08	2.85
	850 °C Q + 300 °C T	1542.25	1293.11	1216.89	6.18	2.37
	850 °C Q + 450 °C T	1161.71	1111.51	892.14	7.03	2.73
	900 °C Q + 150 °C T	1712.42	1308.12	1621.09	5.01	3.01
	900 °C Q + 300 °C T	1505.84	1286.3	1196.69	5.47	2.55
	900 °C Q + 450 °C T	1159.21	1101.42	857.57	7.12	2.59
	950 °C Q + 150 °C T	1652.92	1293.97	1631.38	2.98	2.38
	950 °C Q + 300 °C T	1483.62	1231.61	1203.98	5.81	2.43
	950 °C Q + 450 °C T	1132.33	1057	869.978	6.77	2.4
	Isıl İşlem Yapılmamış	619.43	424.82	219.64	10.39	6.12
30MnB5	850 °C Q + 150 °C T	1788.47	1365.99	1601.05	6.99	2.79
	850 °C Q + 300 °C T	1571.72	1364.2	1390.21	5.18	2.25
	850 °C Q + 450 °C T	1130.04	1072.34	927.35	6.96	2.88
	900 °C Q + 150 °C T	1821.14	1434.74	1670.24	6.07	2.69
	900 °C Q + 300 °C T	1577.43	1364.24	1394.24	5.12	2.33
	900 °C Q + 450 °C T	1134.36	1067.19	944.97	6.97	2.95
	950 °C Q + 150 °C T	1782.28	1320.16	1608.15	6.96	3.13
	950 °C Q + 300 °C T	1527.09	1299.65	1342.04	5.21	2.3
	950 °C Q + 450 °C T	1103.52	1042.82	941.79	5.37	2.2
	Isıl İşlem Yapılmamış	557.61	334.15	119.29	6.67	5.61
34MnB5	850 °C Q + 150 °C T	1791.53	1381.68	1777.84	2.63	2.13
	850 °C Q + 300 °C T	1550.09	1329.45	1359.68	6.13	2.75
	850 °C Q + 450 °C T	1119.47	1050.92	902.8	7.88	2.88
	900 °C Q + 150 °C T	1779.53	1369.68	1765.84	2.83	2.31
	900 °C Q + 300 °C T	1542.09	1321.45	1351.68	5.35	2.36
	900 °C Q + 450 °C T	1113.47	1044.92	896.8	6.94	2.68
	950 °C Q + 150 °C T	1760.04	1319.26	1663.26	5.48	2.92
	950 °C Q + 300 °C T	1553.69	1345.34	1342.62	4.95	2.12
	950 °C Q + 450 °C T	1147.29	1079.59	879.95	6.86	2.45
	Isıl İşlem Yapılmamış	618.11	453.08	137.95	6.58	5.16



Şekil. 4.7. 27MnCrB5 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



Şekil 4.8. 30MnB5 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



Şekil 4.9. 34MnB5 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



Şekil 4.10. 34MnB5 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki numune görüntüleri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).



Şekil 4.11. 30MnB5 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki numune görüntüleri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

850 °C Q + 150 °C T

850 °C Q + 300 °C T

850 °C Q + 450 °C T

900 °C Q + 150 °C T

900 °C Q + 300 °C T

900 °C Q + 450 °C T

950 °C Q + 150 °C T

950 °C Q + 300 °C T

950 °C Q + 450 °C T

Isıl İşlem Yapılmamış



Şekil 4.12. 27MnCrB5 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki numune görüntüleri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

4.4. Numunelerin Ferrit Tane Büyüklüğü

Numunelerin ortalama tane büyüklükleri hesaplanarak Tablo 4.2.' de verilmiştir. Tablo 4.2.' den görüleceği üzere, ısıl işlemler sonrası ortalama ferrit tane büyüklüğü değerleri 34MnB5 çeliği için 1.61 – 7.20 µm, 30MnB5 çeliği için 3.48 – 8.67 µm ve 27MnCrB5 çeliği için 2.05 – 3.87 µm aralığında değişmiştir.

Tablo 4.2. Su verilmiş ve temperlenmiş numuneler için ortalama ferrit tane boyutu

Malzeme	**Isıl işlem**	**Ortalama ferrit tane büyüklüğü (µm)**	**Minimum-maksimum ferrit tane büyüklüğü (µm)**	**Tane boyutu standart sapması**	**Korozyon Hızı (mm. yıl^{-1})**
34MnB5	Isıl işlem yapılmamış	10.04	6.3 – 19	3.44	1.96
	850 °C Q + 150 °C T	5.71	3.8 – 7.8	1.30	1.36
	850 °C Q + 300 °C T	5.84	4.1 – 7.8	1.39	4.04
	850 °C Q + 450 °C T	7.40	5.5 – 10.4	1.61	0.03
	900 °C Q + 150 °C T	1.61	1.3 – 1.9	0.18	1.32
	900 °C Q + 300 °C T	1.92	1.5 – 2.13	0.29	9.04
	900 °C Q + 450 °C T	3.71	3.1 – 4.7	0.68	1.92
	950 °C Q + 150 °C T	3.49	2.8 – 4.5	0.61	10.23
	950 °C Q + 300 °C T	3.22	2.6 – 3.5	0.16	8.26
	950 °C Q + 450 °C T	3.43	2.7 – 3.9	0.38	17.63
30MnB5	Isıl işlem yapılmamış	10.96	6.3 – 18.8	4.47	0.02
	850 °C Q + 150 °C T	3.51	3.0 – 4.3	0.57	2.98
	850 °C Q + 300 °C T	5.95	4.5 – 8.5	1.17	1.18
	850 °C Q + 450 °C T	3.48	2.9 – 4.1	0.54	0.01
	900 °C Q + 150 °C T	4.63	3.8 – 5.5	0.57	1.40
	900 °C Q + 300 °C T	3.68	2.8 – 4.7	0.68	4.22
	900 °C Q + 450 °C T	8.67	6.3 – 11.7	1.52	3.45
	950 °C Q + 150 °C T	4.02	2.9 – 5.2	0.83	2.08
	950 °C Q + 300 °C T	4.03	2.8 – 5.2	0.75	0.94
	950 °C Q + 450 °C T	4.43	3.1 – 6.3	1.00	0.01
27MnCrB5	Isıl işlem yapılmamış	11.76	7.8 – 18.8	3.46	0.37
	850 °C Q + 150 °C T	2.30	1.7 – 2.7	0.31	1.50
	850 °C Q + 300 °C T	2.14	1.7 – 2.7	0.29	4.55
	850 °C Q + 450 °C T	3.16	2.8 – 3.8	0.33	1.38
	900 °C Q + 150 °C T	3.87	2.9 – 4.7	0.67	1.29
	900 °C Q + 300 °C T	2.05	1.4 – 2.5	0.28	1.71
	900 °C Q + 450 °C T	2.17	1.6 – 2.5	0.32	1.23
	950 °C Q + 150 °C T	2.73	2.1 – 3.8	0.67	2.30
	950 °C Q + 300 °C T	2.50	1.7 – 3.8	0.77	0.76
	950 °C Q + 450 °C T	2.85	2.1 – 3.8	0.57	1.62

İncelenen ısıl işlem koşulları altında ortalama ferrit tane büyüklüğü ve korozyon hızı arasında excel programında yapılan korelasyon derecesi analizine göre zayıf bir korelasyon olduğu saptanmıştır.

4.5. Kalıntı Östenit Miktarı

Test edilen düşük alaşımlı çeliklerin yapısındaki karbon oranı % 0.4' ten düşük olduğu için, ısıl işlemden sonra yapı içinde kalıntı ostenit mevcudiyeti olasılığı çok düşüktür. XRD ölçümlerinin sonucunda, kalıntı östenit miktarının test edilen örnekler için çok düşük (% 3 hacim altında) olduğu tespit edilmiştir. 850 ° C Q + 150 ° C T ısıl işlem şartı altında, 34MnB5, 30MnB5 ve 27MnCrB5 çelikleri için kalıntı östenit miktarının sırasıyla % 1.0 ± 0.8 , % 0.9 ± 0.8 ve % 0.8 ± 0.6 olduğu tespit edilmiştir. Orta ve düşük karbonlu çeliklerde, mikroyapıdaki kalıntı östenit (γ- Fe, yüzey merkezli kübik) yaklaşık 250 °C temperleme sıcaklığına kadar önemli bir değişim göstermezken, temperleme sıcaklığının 250 °C' nin üzerine çıkmasıyla azalma eğilime girer ve beynit ya da martenzite dönüşür. Bu nedenle yapılan çalışmada 150 °C' de yapılan temperleme işlemindeki yapıda artık östenite miktarları kontrol edilmiştir.

4.6. Numunelerin Korozyon Karekteristikleri

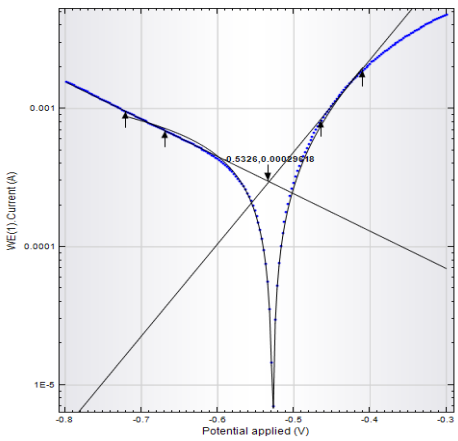
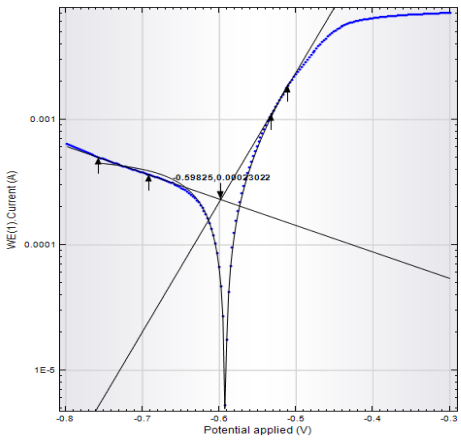
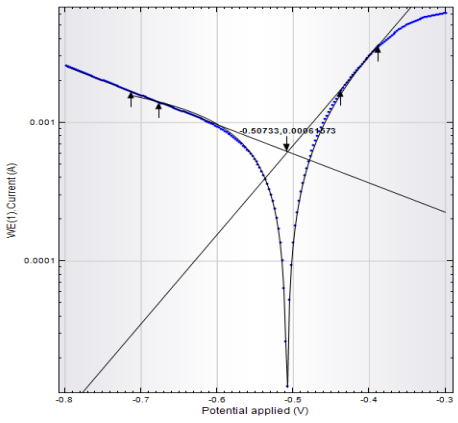
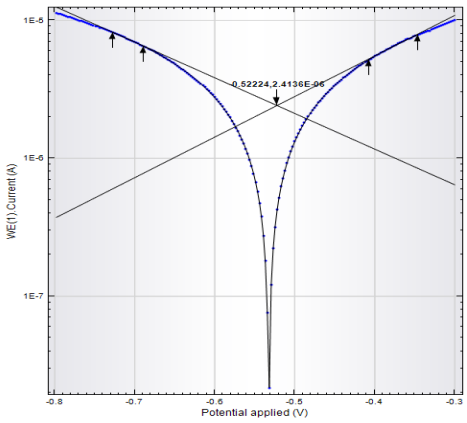
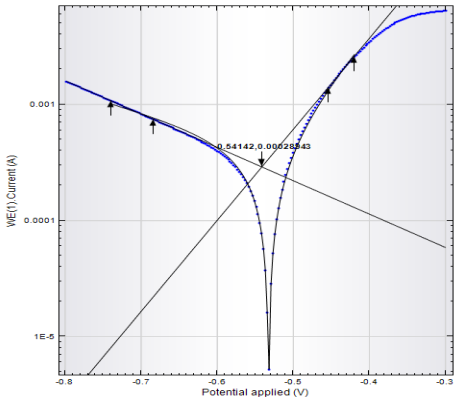
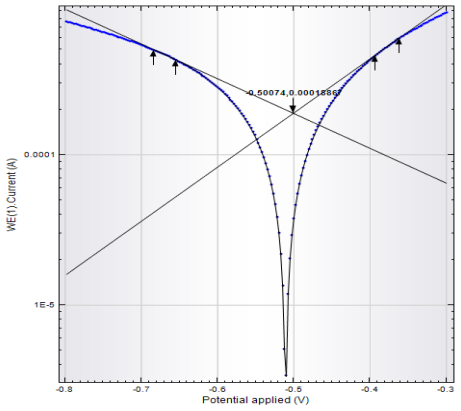
Korozyon deneyleri sonucunda elde edilen, korozyon akım şiddeti J_{cor} ($\mu A\ cm^{-2}$), korozyon potansiyeli E_{cor} (mV), katodik Tafel eğimi (βc, $mV\ dec^{-1}$), anodik Tafel eğimi ($\beta\alpha$, $mV\ dec^{-1}$), polarizasyon direnci (Ω) ve ortalama korozyon hızı ($mm.\ yıl^{-1}$) değerleri Tablo 4.3.'de verilmiştir. Numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de verilmiştir. Numuneler için yüksek polarizasyon direnci ve düşük korozyon akım şiddeti daha iyi bir korozyon direnci ortaya koymaktadır. Ki-Kare ($\chi 2$) parametresinin sıfıra yaklaşması deney kalitesini tanımlamaktadır.

% 3.5 NaCl ortamında, test edilen borlu çeliklerin korozyon direnci bakımından ısıl işlem sıcaklıkları önemli bulunmuştur. 34MnB5 çeliğinde en yüksek korozyon hızı 950 °C Q + 450 °C T ısıl işlem koşullarında, en düşük korozyon hızı ise 850 °C Q + 450 °C T ısıl işlem koşullarında meydana gelmiştir. 27MnCrB5 çeliğinde en yüksek korozyon kaybının 850 °C Q + 300 °C T ısıl işlem koşulunda meydana geldiği belirlenmiştir. 30MnB5 çeliğinde ise en yüksek korozyon hızının 950 °C Q + 300 °C T ve 950 °C Q + 450 °C T ısıl işlem koşullarında meydana geldiği saptanmıştır

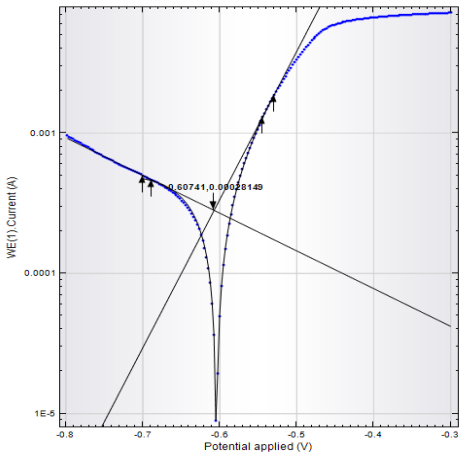
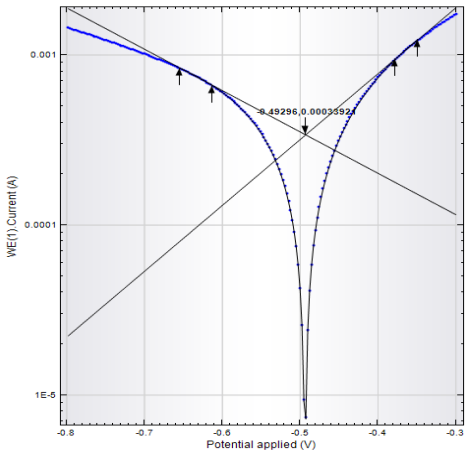
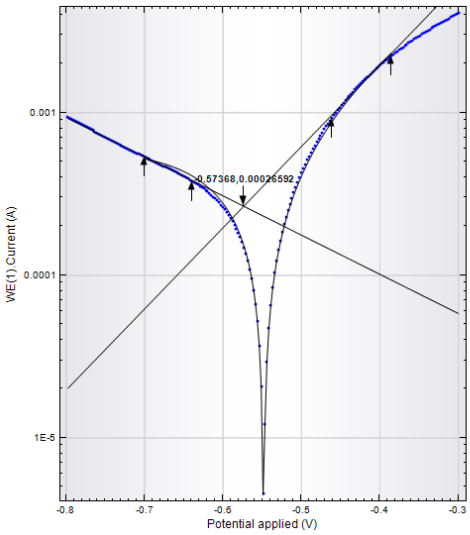
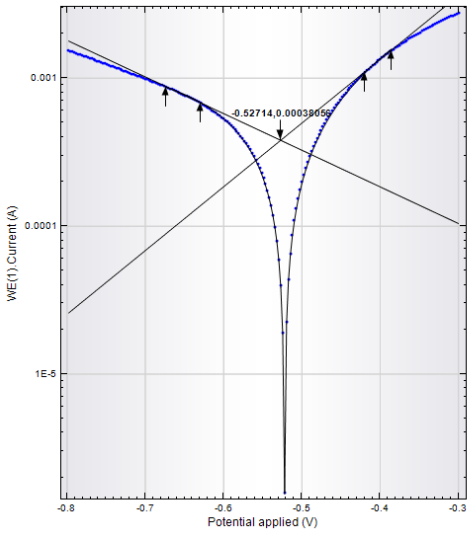
(Tablo 4.3.). İncelenen ısıl işlem koşulları altında, denemeye alınan çeliklerde ortalama ferrit tane büyüklüğü ile korozyon hızı arasında zayıf bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Bu nedenle denemeye tabi tutulan çeliklerde, korozyon direnç farklılıklarının mikroyapıdaki demir karbürlerin miktar ve dağılımından, malzemede meydana gelen gerilmeler ve sertlik değişimlerinden kaynaklanabileceği kanısına varılmıştır.

Tablo 4.3. % 3.5'luk NaCl'ye daldırılmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrilerinin elektrokimyasal kinetik parametreleri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme)

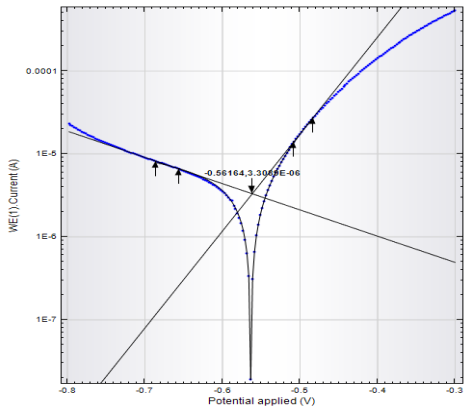
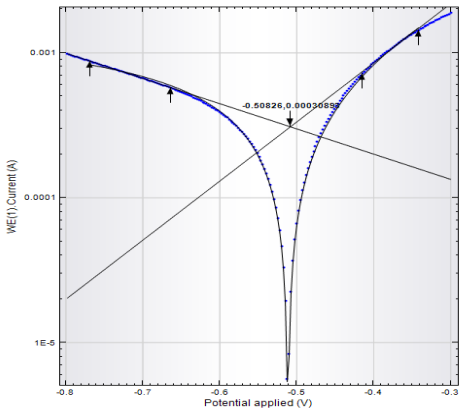
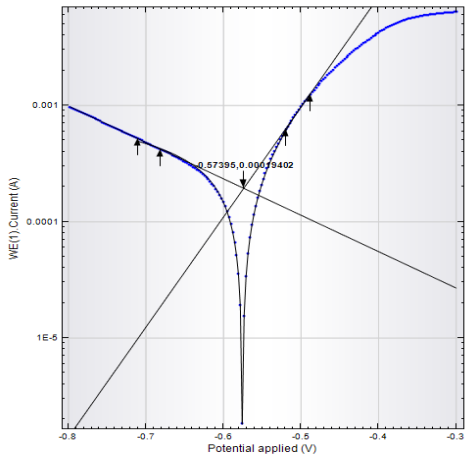
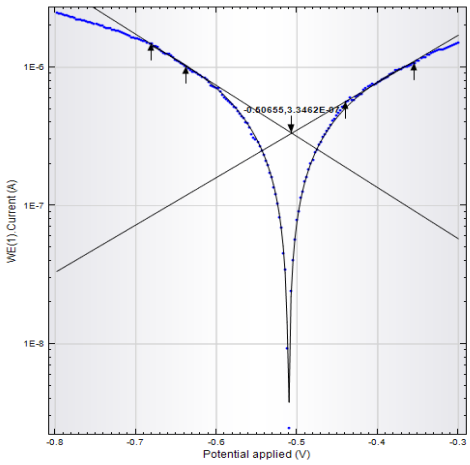
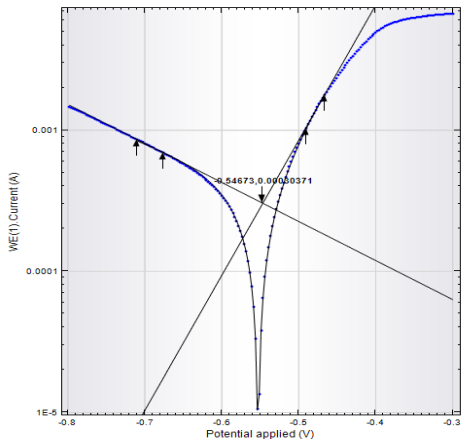
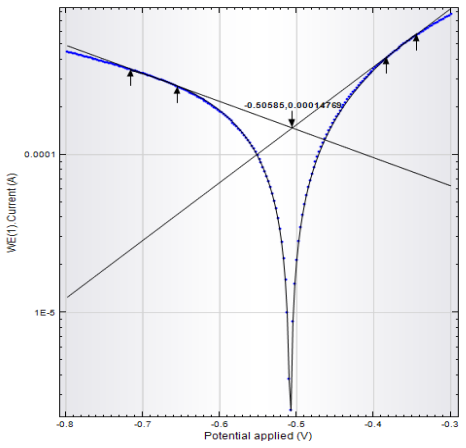
Malzeme	Isıl İşlem	i_{cor} (µA)	J_{cor} (µA. cm^{-2})	$-E_{cor}Calc$ (mV)	$-E_{cor}Obs$ (mV)	B_c (mV. dec^{-1})	β_α (mV. dec^{-1})	Korozyon hızı (mm.$yıl^{-1}$)	Polarizasyon Direnci (Ω)	-E Begin (mV)	-E End (mV)	Ki-Kare $\chi 2$
34MnB5	Isıl işlem yapılmamış	589.09	83.38	532.60	527.84	197.78	957.20	1.96	117.79	719.91	409.85	1.36. E-7
	850 °C Q + 150 °C T	409.95	58.03	598.25	592.40	109.25	3185.60	1.36	111.89	756.53	509.95	5.81 E-8
	850 °C Q + 300 °C T	1218.70	172.50	507.33	508.29	205.91	1444.60	4.04	64.23	712.59	387.88	2.82 E-7
	850 °C Q + 450 °C T	8.79	1.24	522.24	532.46	983.64	1006.00	0.03	24575.00	727.23	346.37	2.165 E-14
	900 °C Q + 150 °C T	398.48	56.40	541.42	532.51	130.05	507.38	1.32	112.82	739.44	419.62	1.62 E-7
	900 °C Q + 300 °C T	2727.90	386.11	500.74	510.92	1396.90	-5974.80	9.04	290.26	683.29	361.02	3.07 E-10
	900 °C Q + 450 °C T	577.75	81.78	615.63	617.10	118.60	12505.00	1.92	88.32	734.56	539.25	2.49 E-8
	950 °C Q + 150 °C T	3087.90	437.07	492.96	475.72	910.31	-7944.00	10.23	144.60	632.02	346.37	4.87 E-10
	950 °C Q + 300 °C T	2492.30	352.77	573.68	548.35	389.82	-721.1	8.26	147.73	700.38	385.44	1.1052 E-7
	950 °C Q + 450 °C T	5320.30	753.05	527.14	522.34	721.54	-1406.00	17.63	120.98	673.52	385.44	1.39 E-8
30MnB5	Isıl işlem yapılmamış	4.95	699.99 E-3	561.64	563.52	100.65	559.41	0.02	7491.20	685.73	483.09	1.49 E-12
	850 °C Q + 150 °C T	898.35	127.15	508.26	511.41	414.07	4020.10	2.98	181.48	768.74	341.49	6.65 E-8
	850 °C Q + 300 °C T	356.19	50.42	573.95	575.61	137.36	779.52	1.18	142.39	710.14	487.98	9.28 E-9
	850 °C Q + 450 °C T	1.49	0.210	506.55	510.46	1.17	756.53	0.01	1340.40	680.85	353.70	6.82 E-14
	900 °C Q + 150 °C T	423.44	59.94	546.73	552.81	124.47	508.95	1.40	102.57	710.14	466.00	1.07 E-8
	900 °C Q + 300 °C T	1271.80	180.01	505.85	508.45	748.27	-2098.30	4.22	397.15	715.03	343.93	1.61 E-9
	900 °C Q + 450 °C T	1040.70	147.30	481.19	493.18	410.22	-1704.60	3.45	137.98	739.44	356.14	3.95 E-8
	950 °C Q + 150 °C T	626.02	88.61	558.79	554.89	158.45	7011.60	2.08	107.500	717.47	434.27	2.37 E-8
	950 °C Q + 300 °C T	284.27	40.24	605.47	605.30	190.53	-2503.20	0.94	315.05	722.35	517.27	1.48 E-9
	950 °C Q + 450 °C T	1.61	0.23	508.95	512.67	527.20	523.81	0.01	70894.00	668.64	363.46	8.86 E-15
27MnCrB5	Isıl işlem yapılmamış	1.07 E-3	151.37	552.33	547.21	152.00	1831.70	0.37	57.00	739.44	441.59	3.33 E-7
	850 °C Q + 150 °C T	451.19	63.86	487.45	485.45	190.31	1420.40	1.50	161.54	693.05	343.93	7.13 E-8
	850 °C Q + 300 °C T	1373.10	194.35	475.95	465.89	211.52	3514.30	4.55	63.10	673.52	326.84	7.15 E-7
	850 °C Q + 450 °C T	417.09	59.04	498.96	507.58	164.90	1709.80	1.38	156.60	666.20	397.64	4.64 E-9
	900 °C Q + 150 °C T	388.60	55.01	504.39	511.56	161.25	-27590.00	1.29	181.26	629.58	402.53	3.00 E-9
	900 °C Q + 300 °C T	514.62	72.84	520.58	524.73	165.18	2915.40	1.71	147.76	693.05	414.73	8.24 E-9
	900 °C Q + 450 °C T	371.42	52.57	452.52	464.33	142.93	463.07	1.23	127.71	619.81	380.56	2.99 E-9
	950 °C Q + 150 °C T	695.21	98.40	510.58	514.92	211.27	-1549.70	2.30	152.820	722.35	380.55	5.07 E-8
	950 °C Q + 300 °C T	229.79	32.53	506.75	519.54	151.93	1154.90	0.76	253.77	663.76	426.94	4.74 E-10
	950 °C Q + 450 °C T	489.25	69.35	563.28	564.57	121.73	1389.00	1.62	99.20	690.61	485.53	8.91 E-9

	
34MnB5, ısıl işlem yapılmamış	34MnB5, 850 °C Q + 150 °C T
	
34MnB5, 850 °C Q + 300 °C T	34MnB5, 850 °C Q + 450 °C T
	
34MnB5, 900 °C Q + 150 °C T	34MnB5, 900 °C Q + 300 °C T

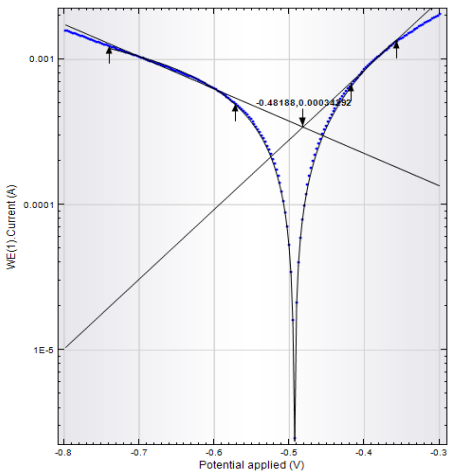
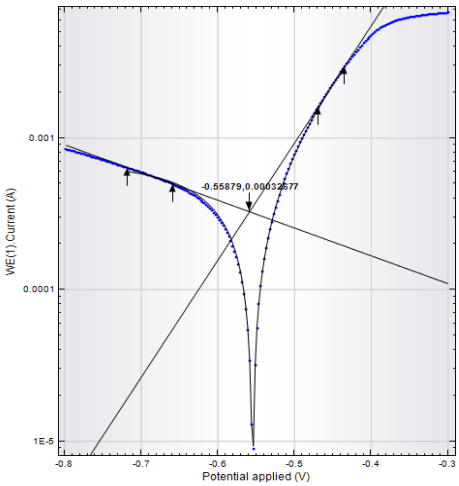
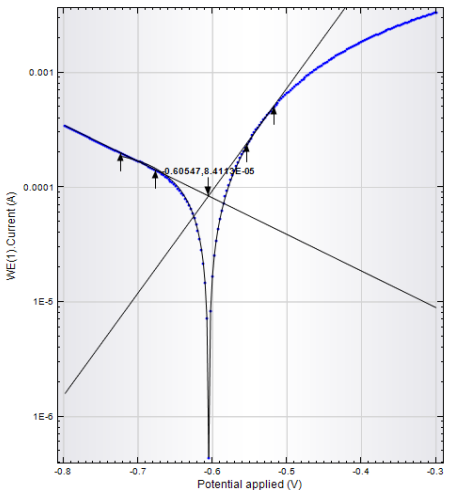
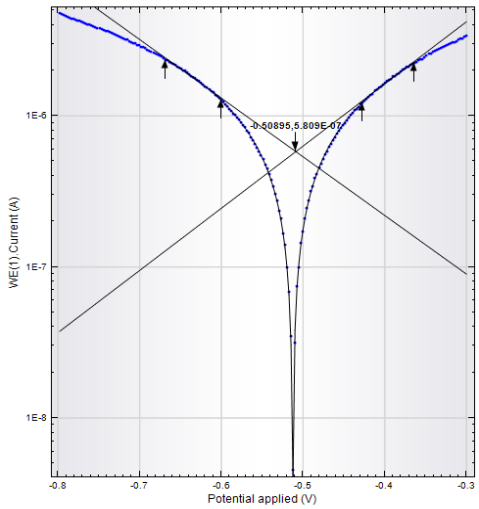
Şekil 4.13. 34MnB5 çeliğinin Tafel eğrileri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

	
34MnB5, 900 °C Q + 450 °C T	34MnB5, 950 °C Q + 150 °C T
	
34MnB5, 950 °C Q + 300 °C T	34MnB5, 950 °C Q + 450 °C T

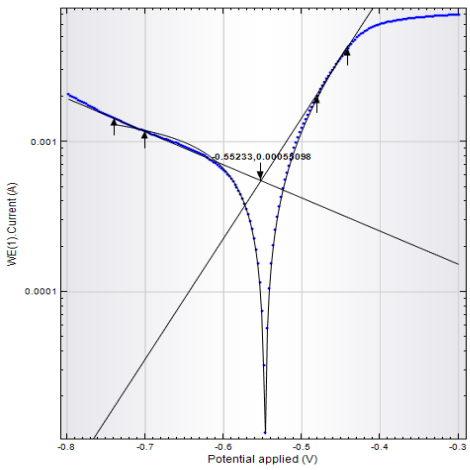
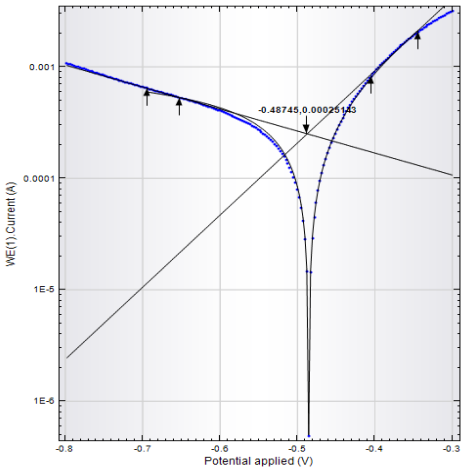
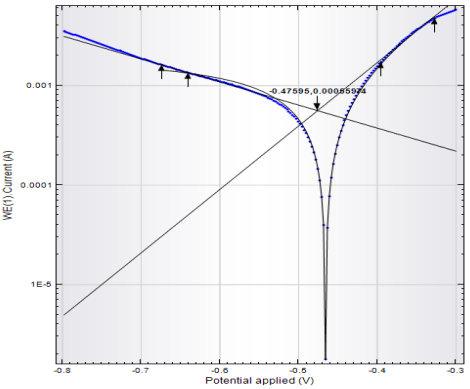
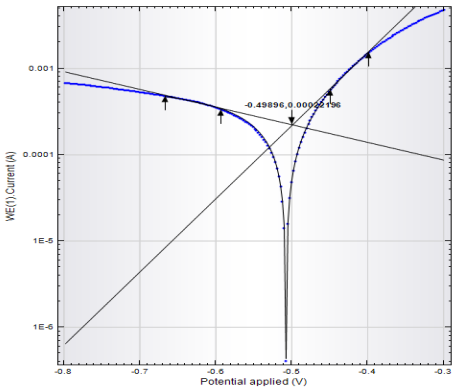
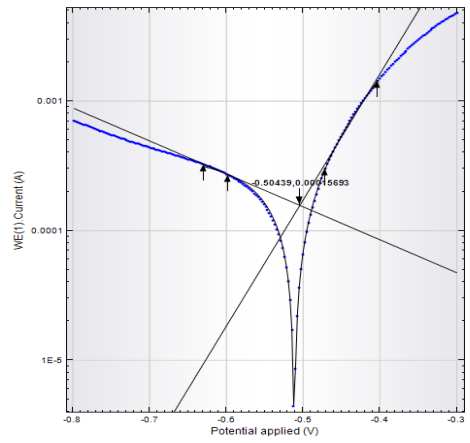
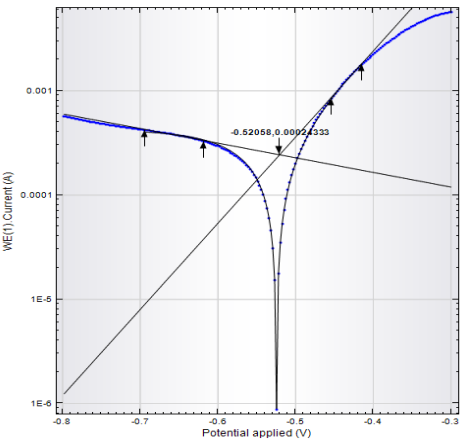
Şekil 4.13. 34MnB5 çeliğinin Tafel eğrileri - devam (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

	
30MnB5, ısıl işlem yapılmamış	30MnB5, 850 °C Q + 150 °C T
	
30MnB5, 850 °C Q + 300 °C T	30MnB5, 850 °C Q + 450 °C T
	
30MnB5, 900 °C Q + 150 °C T	30MnB5, 900 °C Q + 300 °C T

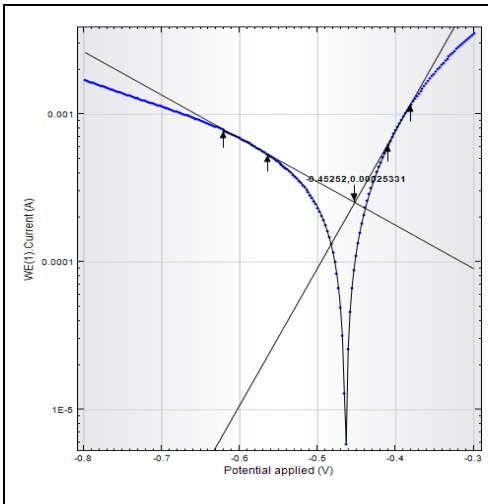
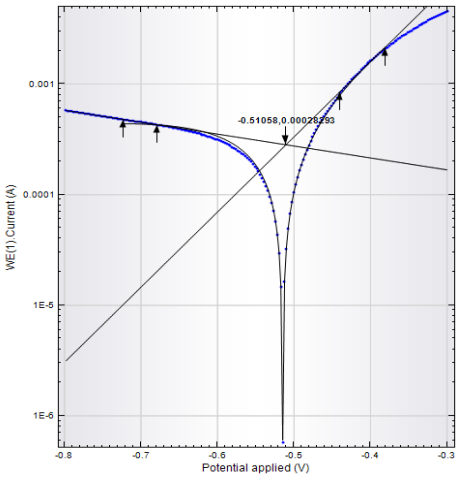
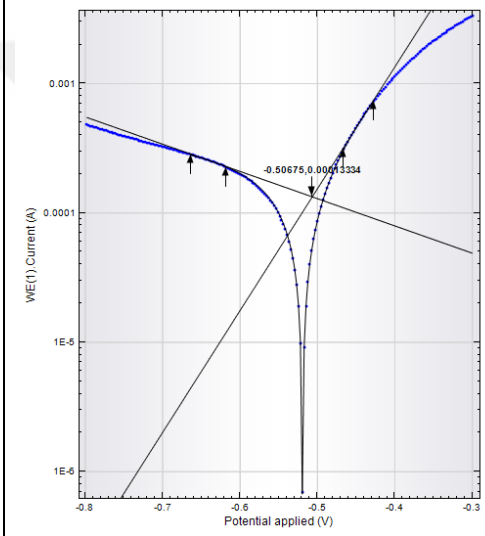
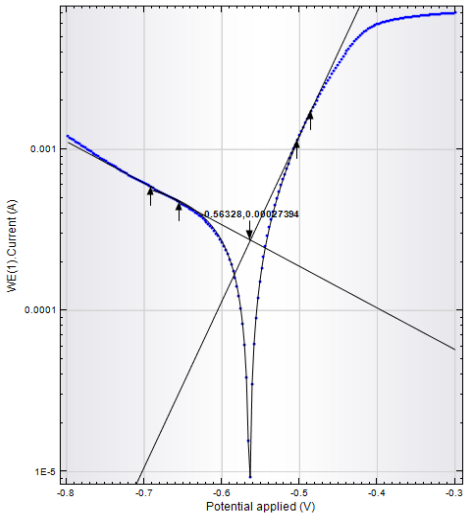
Şekil 4.14. 30MnB5 çeliğinin Tafel eğrileri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

	
30MnB5, 900 °C Q + 450 °C T	30MnB5, 950 °C Q + 150 °C T
	
30MnB5, 950 °C Q + 300 °C T	30MnB5, 950 °C Q + 450 °C T

Şekil 4.14. 30MnB5 çeliğinin Tafel eğrileri - devam (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

	
27MnCrB5, ısıl işlem yapılmamış	27MnCrB5, 850 °C Q + 150 °C T
	
27MnCrB5, 850 °C Q + 300 °C T	27MnCrB5, 850 °C Q + 450 °C T
	
27MnCrB5, 900 °C Q + 150 °C T	27MnCrB5, 900 °C Q + 300 °C T

Şekil 4.15. 27MnCrB5 çeliğinin Tafel eğrileri (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

	
27MnCrB5, 900 °C Q + 450 °C T	27MnCrB5, 950 °C Q + 150 °C T
	
27MnCrB5, 950 °C Q + 300 °C T	27MnCrB5, 950 °C Q + 450 °C T

Şekil 4.15. 27MnCrB5 çeliğinin Tafel eğrileri - devam (Q: Sertleştirme, T: Temperleme).

En yüksek korozyon hızı 34MnB5 çeliğinde meydana gelmiştir (Tablo 4.3.). Artan karbon konsantrasyonu borlu çeliklerin korozyon hızını değiştirmektedir (30MnB5 ve 34MnB5 nolu malzemeler C haricinde kimyasal içerik bakımından oldukça benzerdir). Karbon konsantrasyonunun artması, çözelti içerisinde çözülmemiş demir atomları ve iyonlar / atomlar arasındaki elektrokimyasal reaksiyonu hızlandırdığı görülmüştür. Katot olarak işlev gören sementitin mikro yapıdaki miktar ve dağılımı korozyon direncini etkilemiştir. Bu sonuç literatür ile uyumludur. Literatür taramasına göre; ferritik faz durumunda, azalan karbon konsantrasyonu ile korozyon direnci artar [42]. Sülfürik asit çözeltisinde ağırlıkça % 0.2 – 1.5 – 3.7 ve 4.5 C içeren Fe - C alaşımlarının korozyon davranışı, artan karbon konsantrasyondan etkilenmiştir ve karbon oranının artması korozyonu hızlandırmıştır [43]. Melchers [44], artan C elementi konsantrasyonunun erken evrelerde korozyon hızını önemli ölçüde değiştirmediğini, ancak bir NaCl çözeltisine batırıldıktan sonraki aşamada korozyon hızını arttırdığını bildirmiştir. 27MnCrB5'in kimyasal içeriği yani Mn, Cr, Cu ve karbon içeriği diğer çeliklerden farklıdır. Bu nedenle, bu malzeme için korozyon hızındaki değişimi malzeme kimyasal içeriği ile açıklamak olanaklı değildir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut çalışma, östenitleme ve temperleme sıcaklığının borlu çeliklerin korozyon özelliklerine olan etkisini araştırmak için yapılmıştır. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş borlu çeliklerin % 3.5 ağırlıkta NaCl çözelti içerisinde Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile korozyon özellikleri incelenmiştir. Isıl işlemler sonrası numunelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler, sertlik dağılım profilleri ve kalıntı östenit miktarı araştırılmıştır. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar vurgulanabilir;

1- Borlu çeliklerin C konsantrasyonu, % 3.5 NaCl çözeltisinde korozyon hızını etkilemiştir. Artan C içeriğinin korozyon hızını arttırdığı saptanmıştır. En yüksek korozyon hızı karbon içeriği en yüksek olan 34MnB5 çeliğinde meydana gelmiştir. Katot olarak işlev gören sementitin mikro yapıdaki miktar ve dağılımı korozyon direncini etkilemiştir.

2- Denemeye alınan düşük alaşımlı çeliklerin yapısındaki karbon içeriği % 0.4' ün altında olduğu için XRD' de ölçülebilecek dikkate değer miktarda artık östenite oluşmamıştır.

3- Çalışma sonucunda korozyon hızları bakımından östenitleme ve temperleme sıcaklıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. 34MnB5 çeliğinde en yüksek korozyon hızı 950 °C Q + 450 °C T ısıl işlem koşullarında, en düşük korozyon hızı ise 850 °C Q + 450 °C T ısıl işlem koşullarında meydana gelmiştir. 30MnB5 çeliğinde ise en yüksek korozyon hızının 950 °C Q + 300 °C T ve 950 °C Q + 450 °C T ısıl işlem koşullarında meydana geldiği saptanmıştır. 27MnCrB5 çeliğinde ise en yüksek korozyon kaybının 850 °C Q + 300 °C T ısıl işlem koşulunda meydana geldiği belirlenmiştir.

4- Tüm ısıl işlem görmüş numunelerde en düşük ortalama sertlik değeri 450 °C' de yapılan temperleme işleminde elde edilmiştir.

5- Çekme deneyleri sonucunda, sertleştirme ve temperleme sıcaklığındaki artışın, çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi değerlerinde düşüşe neden olduğu saptanmıştır. En yüksek çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve

kopma gerilmesi değerleri 150 °C' de yapılan temperleme işleminde elde edilmiş, bunu sırasıyla 300 °C ve 450 °C' de yapılan temperleme işlemleri takip etmiştir. Çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi değerleri üzerinde temperleme sıcaklığının etkisinin östenitleme sıcaklığının etkisinden daha etkili olduğu belirlenmiştir. Temperleme sıcaklığının çekme gerilmesi üzerindeki etkisi, akma gerilmesi üzerindeki etkisinden daha belirgindir.

6- Temperleme sıcaklığı arttıkça sertlik, çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi değerlerinde düşüş meydana gelirken, süneklik-tokluk artmaktadır. Sertliğin azalması nedeniyle aşınma direnci azalmaktadır. Çelik kullanıcıları kullanım yeri ve amacına göre uygun bir ısıl işlem prosedürü seçmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Önen, F. Bor Çelikleri. https://ferdionen.files.wordpress.com/2012/12/bor-c3a7elikleri.pdf (14.12.2018)

[2] Ümit, E. Borlu Çelikler ve Tarımsal Mekanizasyonda Kullanım Alanları. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi. Tekirdağ, 2009, 105-114 s.

[3] Klueh, R.L., Alexander, D.J., Sokolov, M.A. Effect of Chromium, Tungsten, Tantalum, and Boron on Mechanical Properties of 5-9CrWVTaB Steels. Journal of Nuclear Materials. 2002, 304, 139-152 s.

[4] Delikanlı, K., Çalık, A., Uzun, H. A. Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. BAÜ Fen Bilimleri Enstitü Dergisi. 2003, 5(1).

[5] Gül, F. Ferritik-Perlitik Küresel Grafitli Dökme Demirin Adhesif Aşınma Dayanımı Üzerinde Borlama Yüzey İşleminin Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2010, 2, 389-395 s.

[6] Bargel, H. J., Schulze, G., Güleç, Ş., Aran, A. Malzeme Bilgisi. İTÜ. 1995, 2.

[7] Perkins D. Strip Processing & Hot Formability of Novel Boron Steels
For AutomoEve Hot Stamping Technologies. Corus, 2004.

[8] Şanlı, N. Her Alanda Bor Farkı. http://bilimkonusalim.com/her-alanda-bor-farki/admin/tum-yazilarimiz/ (06.01.2019)

[9] Bedolla-Jacuinde, M. A., Maldonado, C., Cabrera, J. M. Hot Ductility Behavior of a Low Carbon Advanced High Strength Steel (AHSS) Micro Alloyed with Boron. Materials Science and Engineering. 2011, 13-14, 4468-4474 p.

[10] Werner, D. H. Boron and Boron Containing Steels. Verlag Stahleisen GmbH 2nd Edition. Düsseldorf, Germany, 1995.

[11] Fadare, D. A., Fadara, T. G., Akanbi, O. Y. Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of NST 37-2 Steel. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2011, 3, 299-308 p.

[12] American Society for Metals: Boron Steel 2nd Edition. American Society for Metals. Materials Park, Ohio, USA, 1953.

[13] Ghali, S. N., El-Faramawy, H. S., Eissa, M. M. Influence of Boron Additions on Mechanical Properties of Carbon Steel. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2012, 11, 995-999 p.

[14] Güler, H., Ertan, R., Özcan, R. Effect of Heat Treatment on the Micro Structure and Mechanical Properties of 30MnB5 Boron Steel. Materials and Technology. 2014, 48(6), 971-976 p.

[15] Naderi, M. Hot Stamping of Ultra High Strength Steels. Westfälischen Technischen Hochschule. Aachen, Germany, 2007.

[16] Güler, H., Ertan, R., Özcan, R. Influence of Heat Treatment Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of Boron-Alloyed Steels. Materials Testing. 2012, 54, 619-624 p.

[17] Yazıcı, A. Investigation of The Reduction of Mould Board Plough Share Wear Through Hot Stamping and Hard Facing Processes. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2011, 35(5), 461-468 p.

[18] Yazıcı, A. Wear Behavior of Carbonitride-Treated Plough Shares Produced from 30MnB5 Steel for Soil Tillage Applications. Metal Science and Heat Treatment. 2011, 53(5-6), 248-253 p.

[19] Yazıcı, A. Investigation of The Wear Behavior of Martempered 30MnB5 Steel for Soil Tillage. Transaction of the 1 ASABE. 2012, 55(1), 15-20 p.

[20] Eker, A. A. Korozyon. http://www.yildiz.edu.tr/akdogan/lessons/malzeme2/Korozyon_ve_Korozyondan_Korunma.pdf (12.02.2019)

[21] Ulu, S. Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Temel Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2004, 105 s.

[22] Güleç, Ş., Aran, A. Malzeme Bilgisi. TÜBİTAK Yayını. Gebze, 1987, 2.

[23] Callister, W D., Rethwisch, D. G. Materials Science and Engineering. John Wiley and Sons, Incorporated. 2013, 992 p.

[24] Üneri, S. Korozyon ve Önlenmesi. Korozyon Derneği. Ankara, 1998, 136-284 s.

[25] Çalıskan, E. Karbon Çeliginin HCl Asit Çözeltisindeki Korozyonun Allontoin Moleküllerinden Sentezlenen Schiff Bazının İnhibitör Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Osmaniye, 2012, 92 s.

[26] Asan, A. Korozyon Hızı Ölçüm Metotları. https://docplayer.biz.tr/51934526-Korozyon-hizi-olcum-metotlari-abdurrahman-asan.html (22.11.2018)

[27] Korozyon Hasarları. http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture4.pdf (10.04.2019)

[28] Andrews, K. W. Empirical Formula for the Calculation of Some Transformation Temperatures Investigation on the Morphology of Martensite in Carbon Steels. J. Iron Steel Inst. 1965, 203, 721 p.

[29] Hougardy, H. P. WerkstoffkundeStahl. Grundlagen Springer. VerlagStahleisen, Düsseldorf, 1984, 1, 229 s.

[30] Trzaskaand, J., Dobrazan´ski, L. A. Prediction of Ac_3 and Martensite Start Temperatures by a Data-driven Model Selection Approach. Journal of Materials Processing Technology. 2007, 192, 504.

[31] http://www-it.jwes.or.jp/weld simulator/en/cal1.jsp (27.05.2019)

[32] https://tr.scribd.com/document/330751248/Isil-i-%C5%9Flem-Ve-Uygun-Malzeme-Seci-mi-Seminer (28.05.2019)

[33]file:///C:/Users/hp/Downloads/08_Hafta_Su_verme_sertle%C5%9Ftirmesi_y%C3%BCzey_i%C5%9Flemleri%20(1).pdf (28.05.2019)

[34] Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. ASTM E92-17. 2017.

[35] Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu. TS EN ISO 6892-1. 2011.

[36] Standard Methods for Estimating the Average Grain Size of Metals. ASTM E112-12. 2012.

[37] Standard Practice for X-ray Determination of Retained Austenite in Steel with Near Random Crystallographic Orientation. ASTM E 975-13. 2013.

[38] Rietveld, H. M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. Journal of Applied Crystallography. 1969, 2, 65-71p.

[39] Guo, J., Yang, S., Shang, C., Wang, Y., He, X. Influence of Carbon Content and Microstructure on Corrosion Behaviour of Low Alloy Steels in a Cl - Containing Environment. Corrosion Science. 2009, 51, 242-251 p.

[40] Tong, M. W., Venkatsurya, P. K. C., Zhou, W. H., Misra, R. D. K., Guo, B., Zhang, K.G., Fan, W. Structure-Mechanical Property Relationship in a High Strength Microalloyed Steel with Low Yield Ratio: The Effect of Tempering Temperature. Material Science and Engineering A. 2014, 609, 209-216 p.

[41] Fang, X., Fan, Z., Ralph, B., Evans, P., Underhill R. Effects of Tempering Temperature on Tensile and Hole Expansion Properties of a C-Mn Steel. Journal of Materials Processing Technology. 2003, 132, 215-218 p.

[42] Qu, S., Pang, X., Wang, Y., Gao, K. Corrosion Behavior of Each Phase in Low Carbon Microalloyed Ferrite Bainite Dualphase Steel: Experiments and Modeling. Corrosion Science. 2013, 75, 67-77 p.
[43] Ferhat, M., Benchettara, A., Amara, S.E., Najjar D. Corrosion behaviour of Fe-C alloys in a Sulfuric Medium, Journal of Materials and Environmental Science. 2014, 5 (4), 1059-1068p.
[44] Melchers, R.E. Effect on marine immersion corrosion of carbon content of low alloy steels, Corrosion Science. 2003, 45, 2609–2625p.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gürkan AYDIN

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1989

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : gurkanaydin89@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Karabağlar Cumhuriyet Lisesi, 2008

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2014

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2019

Mesleki Deneyim

Mopak Kağıt-Karton Sanayi A.Ş.	2015-2017
Daikin Klima Sistemleri A.Ş.	2017-2017
BTM A.Ş.	2017-…….. (halen)