



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



5140 ALAŞIMINDAN MAMÜL CIVATA ÜRETİMİNDE ISIL İŞLEM  
PARAMETRELERİNİN ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Yasin YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır.



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Yasin YILDIZ

Tarih:28.10.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### 5140 ALAŞIMINDAN MAMÜL CIVATA ÜRETİMİNDE ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Yasin YILDIZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER

2022,51 Sayfa

#### Jüri

Doç. Dr. Memduh KARA

Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER

Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

Cıvata, birbirine bağlanmak istenen parçaları birleştirmek için kullanılan bağlantı elemanıdır. Makine, inşaat, otomotiv vb. sektörlerde en çok ihtiyaç duyulan bağlantı elemanıdır. Cıvata üretiminde en çok kullanılan çelik AISI 5140 ıslah çeliğidir. Islah işlemi sayesinde istenilen mekanik özellikleri sağlamak mümkündür. Endüstride sıklıkla kullanılan AISI 5140 çeliğinden üretilmiş numuneler 400 °C 'de ön ısıtma yapıldıktan sonra 30 dakika 860 °C'de bekletilip yağda su verme işlemine tabi tutulmuştur. Martenzit yapı elde edildikten sonra, 4 farklı menevişleme sıcaklığı 30 dakika süresince uygulanmıştır. Uygulanan farklı meneviş sıcaklıkları sonrasında numunelerin çekme testleri yapıp mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. AISI 5140 çeliğine ovalama yöntemiyle dış açılıp menevişleme işlemine tabi tutulduktan sonra parçalar bakalite alınıp sertlikleri incelenmiştir. Sertliğin en yüksek olduğu bölgenin dış üstü bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Menevişleme sıcaklığındaki artışla çekme ve akma mukavemet değerlerinde azalma görülürken, uzama değerinde artma tespit edilmiştir. Artan menevişleme sıcaklığıyla AISI 5140 çeliğinde süneklik eğiliminin arttığı görülmüştür. Numunelerin SEM görüntüleri değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AISI 5140 çeliği, cıvata, martenzit yapı, mikro Vickers sertliği, östenitleme, temperleme

## **ABSTRACT**

**MS**

### **THE EFFECT OF HEAT TREATMENT PARAMETERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL IN THE PRODUCTION OF 5140 ALLOY BOLTS**

**Yasin YILDIZ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN METALLURGY AND MATERIALS ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yasin Ramazan EKER**

**2022, 51 Pages**

Bolt is a fastener used to connect the parts to be connected to each other. It is the most needed fastener in the sectors of machinery, construction, automotive etc.. The most commonly used steel in bolt production is AISI 5140 breeding steel. Thanks to the breeding process, it is possible to provide the desired mechanical properties. Samples made of AISI 5140 steel, which is frequently used in the industry, were preheated at 400 °C and then kept at 860 °C for 30 minutes and subjected to oil quenching. After the martensite structure was obtained, 4 different tempering temperatures were applied for 30 minutes. After the different tempering temperatures applied, tensile tests of the samples were performed and their mechanical properties were evaluated. After the AISI 5140 steel was threaded with the rolling method and subjected to the tempering process, the parts were taken bakelite and their hardness was examined. It was determined that the region with the highest hardness was the top of the tooth. While tensile and yield strength values decreased with the increase in tempering temperature, an increase in elongation value was determined. It was observed that the ductility tendency of AISI 5140 steel increased with increasing tempering temperature. SEM images of the samples were evaluated.

**Keywords:** AISI 5140 steel, bolt, martensite structure, micro Vickers hardness, austenitizing, tempering

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim ve tez sürecinde bilgi, tecrübeleriyle çalışmama ışık tutan Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER'e ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ'a saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ayrıca Yüksek lisans sürecinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer eşime ve aileme teşekkür ederim.

Yasin YILDIZ  
KONYA-2022



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2.KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>2</b>
2.1. Cıvata Üretim Yöntemleri .....	3
2.1.1. Sıcak dövme cıvata üretimi.....	3
2.1.1.1. Hammadde seçimi.....	4
2.1.1.2. Hammadde kesimi .....	5
2.1.1.3. İndüksiyon ile ısıtma.....	6
2.1.1.4. Kapalı kalıpta dövme ve çapak alma .....	7
2.1.1.5. Ovalama ile diş açma .....	7
2.1.2. Soğuk dövme cıvata üretimi .....	8
2.2. Çelikler.....	10
2.2.1. Düşük karbonlu çelikler.....	10
2.2.2. Orta karbonlu çelikler .....	11
2.2.3. Yüksek karbonlu çelikler .....	11
2.2.4. Islah çelikleri.....	11
2.3. AISI 5140 Çeliği Özellikleri.....	14
2.3.1. Östenitleme sıcaklığına ısıtma .....	20
2.3.2. Östenitleme sıcaklık değerinde bekletme .....	21
2.3.3. AISI 5140 Çeliğine su verme ve martenzitik dönüşüm .....	21
2.3.4. Temperleme .....	21
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
3.1. Ovalama yöntemi.....	23
3.2. Çekme Testi .....	24
3.3. Mikro Vickers sertlik testi .....	25
3.4. Isıl İşlem .....	27
3.5. SEM Görüntüleme .....	27
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>28</b>
4.1. 5140 Çelik Özellikleri.....	28
4.1.1. AISI 5140 çeliği kimyasal içerik .....	28
4.1.2. AISI 5140 çeliği özellikleri.....	28
4.2. 5140 Çeliğine Menevişlemenin Etkisi.....	29
4.2.1. Menevişleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi .....	29
4.2.2. Menevişleme sıcaklığının sertliğe etkisi.....	30
4.3. Ovalanmış 5140 Çeliğin Özellikleri .....	31

4.3.1. Ovalanmış ve 860 °C’de östenitlenip yağda su verilen AISI 5140 çeliği sertlik testi.....	32
4.3.2. Ovalanmış ve 400 °C’de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi .....	33
4.3.3. Ovalanmış ve 450 °C’de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi .....	34
4.3.4. Ovalanmış ve 500 °C’de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi .....	34
4.3.5. Ovalanmış ve 550 °C’de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi .....	35
4.4.SEM İnceleme.....	36
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>39</b>
5.1.Sonuçlar .....	39
5.2. Öneriler .....	40
<b>6.KAYNAKLAR .....</b>	<b>41</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

- °C : Celcius sıcaklık derecesi
- AISI : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
- C : Karbon
- CNC : Computer Numerical Control (Sayısal Kontrollü Bilgisayar)
- Ç : Çelik
- DIN : Alman standart enstitüsü
- Fe<sub>3</sub>C : Sementit
- Fe-C : Demir-Karbon
- HB : Brinell sertliği
- HMK : Hacim merkezli kübik yapı
- HMT : Hacim merkezli tetragonal yapı
- HRC : Rockwell sertliği
- ISO : International Organization for Standardization
- J : Joule
- M : Martenzit
- Ø : Çap
- SEM : Taramalı elektron mikroskobu
- Te : Ergime sıcaklığı
- Tme : Temperleme sıcaklığı
- TS : Türk Standardı
- TTT : Sıcaklık-zaman-dönüşüm
- XRD : X-ışınları difraksiyonu
- YMK : Yüzey merkezli kübik yapı
- α : Ferrit
- γ : Östenit

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin her geçen gün geliştiği, gelişmesiyle birlikte en çok ihtiyaç duyulan kolay sökölüp takılabilen, somun kullanılarak parçaları sökülebilir bir şekilde birleştiren bağlantı elemanına cıvata nedir. Cıvatalar hava, deniz, kara araçlarında konstrüksiyon sistemlerinde, köprü ve viyadüklerde en çok kullanılan bağlantı elemanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Cıvatada bulunması gereken en önemli özellik; üretiminde kullanılan malzemenin doğru seçilmiş olması, gerekli mekanik değerleri sağlaması (çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması gibi) ve uygun ısı işlem yapılmasıdır. Cıvata üretiminde sıcak dövme yöntemiyle AISI 5140 çeliği kullanılarak üretilen cıvatalar çok yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 5140 çeliğinin en önemli özelliği kolay temin edilebilir olması ve ıslah işlemine uygun bir çelik olmasıdır. Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, çelik grubudur.

Bu çalışmada AISI 5140 ıslah çeliğinden üretilmiş numunelere 860 °C yağda su verilerek martenzit yapı elde edilip, sonrasında 4 farklı menevişleme sıcaklığındaki numunelerin mikro Vickers sertlikleri, mekanik değerleri, SEM görüntülerindeki farklılıklar tespit edilmiştir.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bünyamin Y. Farklı sıcaklıklarda menevişlenmiş AISI 5140 çeliği farklı ısıl işlem koşullarında incelenmiş. 850°C' de östenitleştirme işlemi uygulamıştır. Hacim merkezli kübik yapıya sahip AISI 5140 çeliği bu işlem sonunda yüzey merkezli kübik yapıya dönüşmüştür. Östenitleştirme işleminden sonra numunelere yağda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem neticesinde numune içindeki yapı martenzite dönüşmüştür. Karbon atomları bu ani soğuma esnasında hacim merkezli kübik yapı içerisinde çıkamadığı için malzeme içerisinde yüksek düzeyde sertleşip, kırılğan hale gelmektedir. Bunun sebebi yapı içinde yüksek miktarda iç gerilmeler oluşmasıdır. Bu işlem sonucunda yapının tane boyutunun küçüldüğü belirlenmiştir. SEM görüntülemeye martenzit yapı gözlemlenmiştir (Bünyamin YAMANEL, 2018).

Gültekin U. 5140 çeliğine 14 farklı ısıl işlem uygulanarak mikro yapıları ve mekanik özellikleri değiştirilmiştir. Uygulanan ısıl işlemler sonucunda Ç 5140 malzemesinin çekme mukavemeti, sünekliği ve sertliği önemli derecede değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan en düşük yüzey pürüzlülük değerinin ısıl işleme tabi tutulmamış ticari hali ile temin edilmiş numuneye ait olduğu görülürken ısıl işleme tabi tutulmuş numuneler arasında havada soğutulan ve yağda soğutulup akabinde temperlenen numunelerde düşük yüzey pürüzlülük değerleri görülmüştür (Gültekin UZUN, 2008).

A. Asım E. ıslah çeliklerinden DIN 41Cr4 (SAE 5140) ve DIN 42CrMo4 (SAE 4140) çeliklerine beş farklı östenitleme sıcaklığında su verilerek, beş farklı menevişleme sıcaklığında ıslah edilmişlerdir. Her bir parametre için üçer adet; 24 mm çapında, 40 mm boyunda profil kullanılmıştır. Hem su verme sonrası, hem menevişleme sonrası sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik değerleri sonucuna göre; çekme testi uygulanarak mekanik özellikler, mikro yapı analizi ile de metalografik özellikler yönünden karşılaştırma yapılmıştır. Sertleştirme işleminde; YMK yapıya sahip östenit bölgesinde çözünen karbon, hızlı soğutma işlemi nedeniyle kristal kafesi terk edemeyip karbür yapamadığı için östenit içerisinde hapsolür. HMK yapıya sahip olması gereken demir, hızlı soğutma sonucu HMT yapıya dönüşür. Martenzit olan bu yapı menevişleme sıcaklığı düşükken (350 °C) koyu, kaba, keskin köşeli olmaktadır. Menevişleme sıcaklığı arttıkça çekme ve akma değerleri düşmüştür (Ahmet Asım Eser, 2016).

## 2.1. Cıvata Üretim Yöntemleri

Cıvata-Vida dişinin ilk kullanılmaya başlandığı tarih MÖ 400 yılları olarak tahmin edilmektedir. Tarentum'un zeytin ve üzüm suyunu sıkamak için dişli bir sistem kullandığı tarih kayıtlarında belirtilmektedir. Tarentum'un bu çalışmaları sonrasında Arşimet (MÖ 287-212) ilk diş prensiplerini oluşturmuştur. Jesse Ramsden (1735-1800) 1770'de ilk vida/cıvata makinesini yapan kişi olarak bilinmektedir (Cahit TÖRE, 2007a). Cıvata üretimi sıcak ve soğuk şekillendirme diye iki şekilde yapılır:

### 2.1.1. Sıcak dövme cıvata üretimi

Çelik veya demir malzemenin plastik şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısıtılıp basınç yardımıyla kalıp içerisinde istenilen şekli verme işlemine sıcak dövme denilir. Sıcak dövme cıvatada önce çelik malzeme istenilen boyda testerede kesilir. Daha sonra çelikler indüksiyon tavlama sistemi ile tavlانیp kapalı kalıpta pres yardımıyla basınç yardımıyla dövülür. Daha sonra dövülen cıvatada oluşan çapak, çapaklama kalıbı vasıtasıyla temizlenir. Cıvatanın teknik resmine uygun işlemek için CNC tezgâhlarında işlemeye sevk edilir. Teknik resme uygun işlenen cıvataya ovalama tezgâhında diş açılır. Diş açılan cıvataya mukavemet kazandırmak için ıslah işlemine tabi tutulur. Islah işleminden sonra kullanılacak yere göre cıvataya kaplama (elektro galvaniz kaplama, Geomet Al/Zn kaplama, sıcak daldırma galvaniz vb.) yapılır. Kaplama cıvatanın korozyona karşı dayanımında çok önemlidir. Cıvatanın kullanıldığı yerde nemli ortamdaysa genel olarak sıcak daldırma galvaniz ile yüzey kaplama tercih edilir. Yüzey kaplamada en önemli nokta: cıvatanın yüzeyinin pürüzlülük değerinin düşük olmasıdır. Sıcak dövme ile şekil verme işleminin birçok üstün yönü vardır. Dövme esnasında tane yönlenmesiyle daha tok ve dayanıklı cıvatalar üretilir. Sıcak dövme cıvata üretiminde işlem basamakları Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.1.** Sıcak dövme cıvata üretim aşamaları

#### 2.1.1.1. Hammadde seçimi

Hammadde seçimi sıcak şekillendirme açısından çok önemlidir. Sıcak şekillendirmeye üretilen cıvatalar büyük çaplı olduğu için kullanım yerlerde köprü, viyadük, vinç sistemleri vs. olduğundan hammadde seçimi önem arz etmektedir. Genel olarak sıcak haddelenmiş, yumuşatma tavlmalı, çatlak kontrollü çelikler hammadde olarak tercih edilir. Sıcak haddelenmiş yumuşatma tavlmalı çelik tercih edilmesinin sebebi:

- Cıvataya ovalama yöntemiyle diş açarken malzemenin kolay akma göstermesini sağlar,
- Sıcak dövme sonrasında CNC tezgâhlarında işlenebilmeleri kolaydır,
- Hammadde soğuk çekim yapılacaksa hadde kalıplarına tahribat vermez.

Başlangıç malzemesi depolama alanından dolu mil halinde (Şekil 2.1) alınıp şerit testere yardımıyla kesilir. Başlangıç malzemesini indüksiyonda ısıtmak suretiyle dövme sıcaklığında eksantrik pres yardımıyla dövme işlemi uygulanır. Soğumaya bırakıldıktan sonra cıvatanın baş kısmında oluşan çapak, çapak alma kalıbı kullanılarak cıvatanın uzaklaştırılır.



**Şekil 2.2.** Başlangıç malzemesi

### **2.1.1.2. Hammadde kesimi**

Hammadde belirlenen boylarda kesim yüzeyin dik olması çok önemlidir (Şekil 2.3 ve 2.4). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte düzgün ve hızlı kesim yapabilen tezgâhlar kullanılmaktadır. Yumuşatma tavlama hammadde kullanıldığı takdirde testerelede daha fazla parça kesildiği bilinmektedir.



**Şekil 2.3.** Testere ile kesim



**Şekil 2.4.** Testere ile kesilmiş parçalar

### 2.1.1.3. İndüksiyon ile ısıtma

Faraday tarafından keşfedilen indüksiyon, sıcak dövme cıvata üretiminde önem arz etmektedir. Genel olarak bakırdan yapılan bobinden geçen akımın bobin içerisinde manyetik alan oluşturur (Şekil 2.5). Çelik hammaddesi bobinin içine yerleştirilmek suretiyle dövme sıcaklığında kapalı kalıplarda çapaklı olarak dövülür. Malzemenin dövme sıcaklığına ısıtmak için indüksiyon kullanılır. İndüksiyon ile ısıtma, gaz tüpleri kullanılarak malzeme ısıtma yönteminden daha güvenilir ve daha verimlidir. Bakır bobinler yardımıyla istenilen bölgeyi hızlı bir şekilde ısıtabilir.



**Şekil 2.5.** İndüksiyon ile malzeme ısıtma

#### 2.1.1.4. Kapalı kalıpta dövme ve çapak alma

İndüksiyon ile tavlanan malzemenin kapalı kalıplarda pres yardımıyla dövme işlemidir (Şekil 2.6). Dövme sonrasında malzemenin bir kısmı kalıp dışına çıkar. Çıkan bu kısma çapak denir. Dövme sonrasında soğumaya bırakılan parçanın ayrı bir kalıpta çapağı alınır.



Şekil 2.6. Sıcak dövülmüş cıvata

#### 2.1.1.5. Ovalama ile diş açma

Ovalama soğuk şekillendirme yöntemidir (Şekil 2.7). Soğuk şekillendirme olarak ifade edilmesinin sebebi ovalama ile diş açmanın oda sıcaklığında olmasındandır. Ovalama röleleri soğuk iş takım çeliklerinden imal edilen parçalardır (Şekil 2.8). Cıvatanın diş açılacak kısmı iki adet top arasında akmaya zorlanarak diş formu oluşturulur. Ovalama ile diş açma yönteminde cıvatada talaş kaldırılmaz ve malzeme kaybı yaşanmaz. Ovalama esnasında iş parçasının sertliğinin fazla olması ovalama topunun ömrünü kısaltır.



**Şekil 2.7.** Ovalama tezgâhı



**Şekil 2.8.** Ovalama topları

### **2.1.2. Soğuk dövme cıvata üretimi**

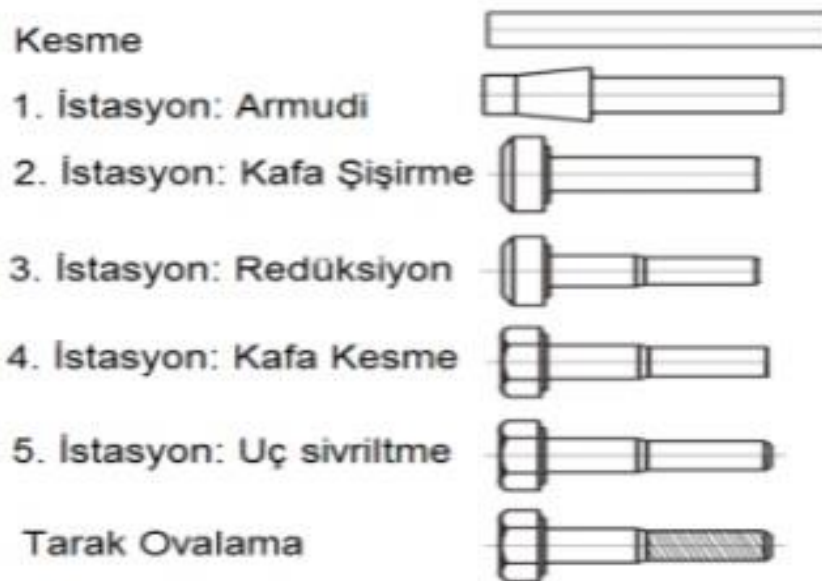
Soğuk dövme cıvata, metalin oda sıcaklığında şekil verme işlemi olarak tanımlanır. Çok istasyonlu tezgâhlarda, sıcak dövmeden daha büyük bir basınçla kuvvet uygulanarak üretilir. Soğuk dövme işlemi, dövülecek malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda gerçekleşir. Malzemeyi ve kalıpları dövme işlemi öncesinden belirlenen bir sıcaklığa kadar ısıtmaya gerek yoktur. Dövülen malzemede çok iyi derecede yüzey kalitesi elde edilir. Dar toleranslarda cıvata üretimi yapılır.

Malzemede sertlik artışı görülür. Sıcak dövmede ise malzemede meydana gelen, karbon kaybı yaşanmaz. Soğuk dövme sırasında plastik deformasyon sonucu oluşan iç gerilmeleri ortadan kaldırmak amacıyla gerilim giderme tavlaması uygulanır. Malzemelerde faz değişimine sebep olmayan bu uygulamalarda, malzemeler 60 ile 90 dakika arasında 550-650° C sıcaklıkta tutulur (*Norm Cıvata San. Ve Tic. A.Ş. Eğitim Notları*, 2015).

Soğuk dövme cıvatalar genel olarak küçük çaplı özel geometrik şekilli cıvatalardır. Soğuk dövme cıvataların üretimi, otomatik makinelerde sıcak dövmeyle kıyasla çok daha hızlı ve seri şekilde yapılmaktadır. Ayrıca soğuk dövme cıvata çapak ve dış dibi işleme (CNC tezgâhlarda) gibi işlemler olmadığı için daha az malzeme kullanılacağından maliyet açısından sıcak dövmeyle göre daha uygundur (Şekil 2.9 ve 2.10).

Soğuk dövme cıvatanın avantajları:

- Malzemeyi ve kalıpları dövme öncesinde ısıtmak için enerji gerekmez,
- Yüksek yüzey kalitesi elde edilir,
- Dar toleranslarda üretim yapılabilir,
- Sıcak dövmede görülen yüzey oksitlenmesi soğuk dövmede görülmez,
- Malzemenin sertliği ve dayanımı dövme sonrasında önemli miktarlarda artar,
- Soğuk dövmede kalıp ve aparatların hızlı değişimi sayesinde az sayıdaki ürünler de ekonomik olarak üretilebilir, makinalardaki program değişimleri kısa olur,
- Sıcak dövmede oluşan karbon kaybı (dekarburizasyon) olmaz (*Norm Fasteners* /, t.y.).



Şekil 2.9. Soğuk dövme cıvata üretim aşamaları



**Şekil 2.10.** Soğuk dövme cıvata makinesi

## 2.2. Çelikler

Çelik, karbon oranı en çok %2,06 ve içerdiği demir oranı %50 den fazla, karbondan başka elementlerde içeren demir-sementit alaşımıdır. Yüksek alaşımli çeliklerde karbon oranı %2,5 civarında olabilir, Fakat demir-karbon denge diyagramında çelik ve dökme demirleri ayıran sınır %2,06 karbondur. Çelik uygun mikro yapıda ise soğuk veya sıcak olarak plastik şekil verilebilir. Çeliğe belirli oranların üzerinde alaşım elementi ilave edilirse alaşımli çelikler elde edilir (Cahit TÖRE, 2007b).

Karbon oranı %2'den fazla ise dökme demir sınıfına girmektedir. Dökme demirlerde karbon oranı fazla olduğu için gevrek kırılma gösterip, süneklik bakımından zayıftır. Şekillendirmeleri zordur. Dökme demirlere en uygun üretim yöntemi dökümdür. Dökme demirler mukavemet olarak, çelik gruplarından daha zayıf özellik gösterdiği için daha uygun fiyattadır. Döküm sırasında alaşım oranları uygun oranda eklenir, uygun ısıl işlem yapılırsa kalite bakımından iyi dökme demirler üretilmiş olur. Çelikler içerisinde buldukları karbon oranına göre sınıflandırılırlar.

### 2.2.1. Düşük karbonlu çelikler

Düşük karbonlu çelikler karbon oranının %0,25'e kadar olan kısmını kapsarlar. Karbon oranının düşük olmasından dolayı kaynak kabiliyeti yüksek, sünekliği fazla olan çelik grubundadır. Düşük karbon çelikleri içerdikleri düşük karbondan dolayı ısıl işlem yöntemiyle sertleşmezler. Sementasyon işlemi uygulanabilir. Karbon oranının düşük olmasından dolayı kolay şekillendirilir. Sanayilerde ağırlıklı olarak sac malzemesi, profil, köşebent gibi gruplar düşük alaşımli çelik grubu malzemeden üretilir. Tercih edilmesinin

en önemli sebebi kolay kaynak edilebilir olması ve bulunabilirliğinin kolay olmasındandır.

### 2.2.2. Orta karbonlu çelikler

Orta karbonlu çelikler, karbon oranının %0,25-0,55 Aralığında olduğu çelik grubudur. Orta karbonlu çelikler ısıtılarak mekanik özellikleri büyük ölçüde değiştirilmeye uygun çelik grubudur. Cıvata, somun gibi bağlantı elemanlarında yaygın olarak kullanılan malzeme grubudur.

### 2.2.3. Yüksek karbonlu çelikler

Karbon oranları %0,55-0,9 arasında olan çelik grubudur. Mukavemet ve aşınma direnci yüksek olan alanlarda kullanılır.

### 2.2.4. Islah çelikleri

Islah çelikleri yumuşatma tavlama tabii tutulmuş veya belli bir çekme dayanımı sağlayabilecek şekilde bulunabilmektedir. Genel olarak ıslah grubu çelikleri, yüksek mukavemet ve süneklik istenmekte, su verme işleminden sonra yüksek sıcaklıkta menevişleme işlemine tabii tutulmaktadır.

Islah çeliği seçilirken, kimyasal bileşenler kadar önemli olan yüzey sertlik ve sertlik derinliğidir. Yüzey sertliği karbon oranıyla orantılıdır. Sertlik derinliği ise alaşım elementiyle alakalıdır. Islah işlemi; parçaya sertlik kazandırma sonrasında istenilen sertliğe düşürmek için temperleme işlemi olarak adlandırılır. Bunun sonucu olarak tok bir malzeme elde edilmiş olur. Islah işleminde uygun tokluk ve mukavemet değerlerine ulaşmak çeliğin iç yapısının homojenliğine bağlıdır. Uygun iç yapıdaki çeliği vakumlu ocakta, çatlak kontrollü çelik kullanmakla elde edebilir. İç yapı temizleme işlemi, eriyik çeliğin içerisindeki N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> gazlarından arındırma olarak tanımlanabilir. Islah çeliklerine elementlerin etkisi aşağıdaki gibidir:

### **Karbon (C)**

Çeliğin en önemli elementidir. Karbon oranı çelikte sertliği ve mekanik özellikleri etkileyen en önemli elementtir. Karbon oranı arttıkça çekme dayanımı ve akma dayanımı artarken, uzama (%) azalır. Ayrıca karbon oranı arttıkça kaynak yapılabirlik önemli ölçüde azalır. Talaşlı imalatta işlenecek çeliklerde karbon oranı düşük çelikler tercih edilmelidir. Karbon oranının az olması, haddelenmiş yüzey kalitesini iyileştirmektedir.

**Mangan (Mn)**

Mangan çeliğin üretiminde yer alan bir kimyasal bileşendir. Mangan, çeliğin kolay dövülebilme, haddelenebilme ve talaşlı işlenebilme özelliğini artırır. Mangan çelik yapısında istenmeyen element olan kükürdü (MnS) bağlamakta kullanılır. Böylece çelikte sıcak kırılmalık yapan demir kükürt yapısını engellemiş olur. Çelik içindeki kükürdün 2-8 katı mangan eklemek, kükürdü tamamıyla bağlamada en etkili yöntemdir.

**Silisyum (Si)**

Silisyum çelikte genel olarak deoksidasyon için eklenen elementtir. Çelikte silisyum fazlalığı esnekliği azaltır. Miktarı arttıkça tane büyüklüğünde önemli ölçüde artma gözlemlenmiştir. Çelikte silisyum miktarının artması demir oksit (tufal) oluşumunu azaltır. Silisyum miktarı çok olan çelikleri soğuk çekim yöntemiyle daha küçük çapa düşürülemez. Çeliklerde kopmalar görülür. Çekme ve akma mukavemetini artırır.

**Fosfor (P)**

Çelik üretimi sırasında kalıntı bir element olarak bulunur. Fosfor çelik içinde çatlak etkisi meydana getirdiği için yorulma dayanımının düşmesine sebep olur. Demir içinde nüfuz etmesi zor olduğu için mikro segregasyon oluşur. Çeliklerde işlenebilme ve paslanmaya karşı dayanıklılığı olumlu yönde etkiler.

**Kükürt (S)**

Çeliklerde istenmeyen elementtir. Çelik yapısında FeS bileşimi oluşturarak, sıcak haddelemede veya dövmede (800-1000 °C) sıcak kırılmalık meydana getirir. O yüzden yapıya mangan ilave edilir, ilave edilen mangan kükürdü bağlar ve FeS engellenmiş olur. Engellenince sıcak kırılmalık riski ortadan kalkmış olur. Kükürt oranı daha çok otomat çeliklerinde fazladır. Talaşlı işlenebilme özelliğine olumlu etkisi vardır. Çekme ve akma dayanımına olan etkisi yok sayılacak kadar azdır. Islah grubu çeliklerde oranları max. %0,035-0,045 aralığındadır. Kükürt çelik içinde fazla bulunması kaynağı olumsuz yönde etkiler. Özellikle az karbonlu çeliklerde kükürdün fazla olması yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olur.

**Krom (Cr)**

Krom sert karbürlerin oluşmasına sebeptir. Paslanmaya karşı direnci artırır. Islah çeliklerinde sertleşebilme özelliği kazandırır. Çelikte % 13 üzerinde krom eklemek çeliğe paslanmazlık özelliği kazandırır. Paslanmaz çeliklerde nikel ile birlikte yapı içinde kullanılır. Paslanmaz çeliklerde krom oran olarak nikel oranının 2 katıdır. Çelikte tufal yapmayı önleyen bir elementtir. Krom fazlalığı kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkiler.

**Molibden (Mo)**

Çeliklerde karbon elementinden sonra çeliği sertleştiren diğer elementtir. Tek başına alaşım elementi olarak çelikte bulunmaz. Genel olarak nikel, krom gibi elementlerle beraber çelik yapısında bulunur. Çeliklerde sertlik ve tokluğu arttıran bir elementtir. Tane boyutunu düşürür. Çelikte sertleşme etkisi veren elementtir.

**Tungsten (W)**

Çelikte ince taneli yapı oluşmasına sebeptir. Bu nedenle çeliğe tokluk ve sertlik özelliği verir. Yüksek hız çelik gruplarında alaşım elementi olarak tercih edilir.

**Vanadyum (V)**

Yüksek oranda karbür yapma özelliği vardır, tane büyümesine engel olur. Karbür yapılar östenitleme sıcaklığında çözünemezler. Bu sebeple ince taneli bir iç yapı oluşturur.

**Titanyum (Ti)**

Çeliğe tane küçültme elementi olarak eklenir. Paslanmaz çelik gruplarında, krom karbürün olumsuzluğunu gidermek için, karbür yapıcı kimyasal bileşen olarak çelik yapısına katılır.

**Alüminyum (Al)**

Çelik içinde oksijeni azaltmak için kullanılır. Çelikte tane küçültme özelliği vardır. Ağırlıklı olarak nitrasyon çelik gruplarında tane küçültme özelliği yüzünden en önemli alaşım elementi olarak kabul edilir.

**Kalay (Sn)**

Çelikteki varlığı akma mukavemeti ve çekme mukavemetini değiştirmez. Sıcak hadde yaparken sıcak yırtılmalara sebep olur. Bunun sebebi ise düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yapmasıdır. Tokluğu azaltıcı etkisi vardır.

**Bakır (Cu)**

Çelikte akma mukavemeti ve çekme mukavemetini arttırıcı özelliği vardır. Uzamayı azaltıcı özelliği vardır. Soğuk çekim sırasında malzemenin kopmasına sebep olur. Bu sebepten sıcak haddelenmiş çeliklerde bakırın oranına özellikle dikkat edilir. Aksi takdirde soğuk çekim sırasında kopmalar meydana gelebilir. Paslanmaya karşı direnci fazlalaştırır.

**Kurşun (Pb)**

Çelikte element olarak fazla bulunursa haddelenebilme özelliğini zayıflatır. Hadde işlemi sırasında sıcak yırtılmalara sebebiyet verir. En olumsuz yönü sıcak haddelemede yüzey kalitesinin bozuk olmasıdır. Kurşunda, kükürt gibi talaşlı imalatta kolay Şekil vermede etkili bir element olduğu için otomat çelik gruplarında önemli bir alaşım elementidir.

**Azot (N)**

Demir içinde çözümediğinden oda sıcaklığında çelik içinde aşırı doymuş durumdadır. Zamanla yayılarak iğnemsisi bir çökelti oluşturur. Bu yapıda çelikte gevrekleşmeye sebep olur.

**2.3. AISI 5140 Çeliği Özellikleri**

Islah çelikleri grubunda en çok kullanılan çelik AISI 5140 çeliğidir. Kullanım sebebi kimyasal elementleri ve karbon oranı sertleştirilmeye uygun olmasıdır. Doğru ısıl işlemlerle yüksek tokluk özelliği kazandırılırken, üstün mekanik özelliklerde sağlar. Islah çeliklerinde en önemli nokta ısıl işlemi iyi yapmaktır. AISI 5140 çeliği ıslah grubu çelikleri araç krank millerinde, rot başı, aks mili gibi parçaların üretiminde kullanılır. Bağlantı elemanları sektöründe cıvata, ankraj ve somun üretiminde yaygın olarak kullanılır.

**AISI / SAE 4140 çeliğinin mekanik ve fiziksel özellikleri:**

Yoğunluk (kg/dm<sup>3</sup>): 7.7 – 8.03

Poisson Oranı: 0.27-0.30

Elastisite Modülü (GPa): 190-210

Çekme Mukavemeti (MPa): 655.0, 1650 (Isıl işlem uygulanarak)

Akma Mukavemeti (MPa): 417.1

% Uzama: 25.7

% Kesit Daralması: 56.9

Sertlik (HV): 210, 285 – 350 (\* Ön sertleştirilmiş halde sertlik değeri)

Darbe dayanımı (J): 54,5 (*SAE/AISI 4140 Islah Çeliği ve 4140 Çelik Özellikleri*, t.y.-a).

Islah işlemi, sonuçta çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı, önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilir. Islah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçaları, çeşitli cıvata, somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolu, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalatı olmak üzere geniş bir alanda kullanılırlar. Bu sebepten, ıslah çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür. Uygun ıslah çeliğinin seçimi ve doğru ıslah işleminin uygulanması çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi kullanılan çeliğin içyapı temizliği ile yakından ilgilidir. İçyapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve sülfür kalıntılarının temizlenmesi işlemidir (Asil Çelik, 2000).

Isıl işlemler, genel olarak metal ve alaşımlarına uygulanan ısıtma ve soğutma işlemi olarak adlandırılabilir. Isıl işlemde çeliğin içyapısı değiştirilir. İçyapıdaki değişiklik mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Sertleştirme, çeliklere özellik kazandıran en önemli ısıl işlemidir. Sertleştirme işlemi, öncelikle çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Östenit sıcaklığında tutma süresini çelik parçanın östenit fazda homojen bir yapıya ulaşmasını belirler. Daha sonra hızlı soğutma ile sertleştirilir. Sertleştirmenin ana amacı minimum soğuma hızında tamamen martenzit yapı elde etmektir. Kritik soğuma hızı çeliğin kimyasal bileşimine ve östenit tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Eğer çelik parça, kritik soğutma hızından daha süratli

soğutulursa sonuçta yüksek sertlikte sadece martenzit yapı elde edilir. Fakat eğer, parçaya uygulanan soğutma hızından daha yavaşsa östenitin bir kısmının veya tamamının ferrit ve perlit dönüşmesiyle sonuçta yapıda martenzit miktarı azalacak ve sertlik değeri düşecektir. Parçanın soğuma hızı ile kritik soğuma hızı arasındaki fark büyüdükçe östenitin ferrit ve perlite dönüşüm miktarı artacak buna bağlı olarak sertlikte düşecektir (Burçin AYDINOĞLU, 2002; Cahit TÖRE, 2007b).

AISI 5140 çeliğinden imal edilen cıvatalar genel olarak 10.9 kalite veya 8.8 kalite standardına uygun sertlikte olacak şekilde ıslah edilirler. Cıvata 10.9 kalite ise: su verme sonrasında menevişleme sıcaklığı 36-38 HRC ye uygun sıcaklık seçilir. Cıvata kalitesi 8.8 ise menevişleme sıcaklığı biraz daha arttırılarak 28-30 HRC ye uygun sıcaklık seçilir. Cıvata kalitelerine uygun mekanik özellikler, sertlik vs. ISO 898-1 standardında belirlenmiştir. ISO 898-1 'de cıvata, vida, saplamaların mekanik özellikleri, deneme yükü altındaki gerilme, kopmadan sonraki uzama (%), HB, HV, HRC sertlik değerleri mevcuttur. Ayrıca cıvata veya saplamanın ölçüsüne göre çekeceği yük miktarı, cıvata somun sıyırma testi değerleri, bağlantı elemanlarının kalitesine uygun çelik isimleri mevcuttur. Bağlantı elemanlarında baş sağlamlığı testleri için uygulanacak değerlerde mevcuttur.

ISO 898-1 de cıvata, saplama gibi bağlantı elemanı üreten firmaların referans aldığı değerlerdir (Şekil 2.11 ve 2.12). Bu standart, 10 °C ilâ 35 °C ortam sıcaklığı aralığında deneye tâbi tutulduğunda, karbon çeliği ve alaşımlı çelikten imal edilmiş cıvata, vida ve saplamaların mekanik ve fiziksel özelliklerini kapsar. Bu standardın kurallarına uyan bağlama elemanları (cıvata, vida ve saplamaların birlikte değerlendirildiğinde kullanılan terim), belirtilen ortam sıcaklığı aralığında değerlendirilir (Çizelge 2.1) (ISO 898-1, 2013).

No.	Mekanik veya fiziksel özellikleri	Mukavemet sınıfı											
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9/ 12.9		
							$d \leq 16 \text{ mm}^a$	$d > 16 \text{ mm}^b$	$d \leq 16 \text{ mm}$				
1	Çekme gerilimi, $R_m$ , MPa	anma <sup>c</sup>	400		500		600		800		900	1 000	1 200
		en az	400	420	500	520	600	800	830	900	1 040	1 220	
2	Alt akma dayanımı, $R_{eL}^d$ , MPa	anma <sup>c</sup>	240	—	300	—	—	—	—	—	—	—	—
		en az	240	—	300	—	—	—	—	—	—	—	—
3	% 0,2 orantısız uzamada gerilme, $R_{p0,2}$ , MPa	anma <sup>c</sup>	—	—	—	—	—	640	640	720	900	1 080	1 200
		en az	—	—	—	—	—	640	660	720	940	1 100	1 200
4	Tam boy bağlama elemanları için 0,0048d orantısız uzamadaki gerilme, $R_{pf}$ , MPa	anma <sup>c</sup>	—	320	—	400	480	—	—	—	—	—	—
		en az	—	340 <sup>e</sup>	—	420 <sup>e</sup>	480 <sup>e</sup>	—	—	—	—	—	—
5	Deneme yükü altında gerilme, $S_p^f$ , MPa		225	310	280	380	440	580	600	650	830	970	
		Deneme dayanım oranı $S_{p,anma}/R_{eL, en az}$ veya $S_{p,anma}/R_{p0,2, en az}$ veya $S_{p,anma}/R_{pf, en az}$	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88	
6	Kopmadan sonraki uzama yüzdesi, işlenmiş deney parçaları için, A, %	en az	22	—	20	—	—	12	12	10	9	8	
7	İşlenmiş deney parçaları için kopmadan sonra alanın azalma oranı, Z, %	en az	—				52		48	48	44		
8	Tam boy bağlama elemanları için kopmadan sonra uzama, $A_f$ (Ek C'ye de bkz.)	en az	—	0,24	—	0,22	0,20	—	—	—	—	—	—
9	Baş sağlamlığı		Kopma yok										

Şekil 2.11. ISO 898-1 civata, vida ve saplama mekanik ve fiziksel özellikleri



Çeliklerde ısıt işleme değışebilen özellikler řu şekilde sıralanabilir:

-Isıt işleme yapıp sertleştirilen malzemeye yumuşatmada yapılabilir. Malzemenin kullanım alanına göre talaşlı veya talaşsız işlenebilirlik açısından uygun iç yapı elde edilebilir.

-Lamelli yapıdaki içyapı, küresel yapıya dönüştürülebilir.

-Soğuk çekme yapılarak çelik yapısındaki uzamış kristaller, küresel yapıya dönüştürülebilir. Çelik tekrar soğuk şekillenebilme özelliğı kazandırılabilir.

-Malzemenin döküm yapıldıktan sonra oluşan katılaşmada, tane sınırları arasındaki elementlerden çözülebilenleri, yapı içinde homojen olarak dağıtılabılır. Çözülmeyen elementler parçalanır. Malzemenin mekanik ve işlenebilme özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

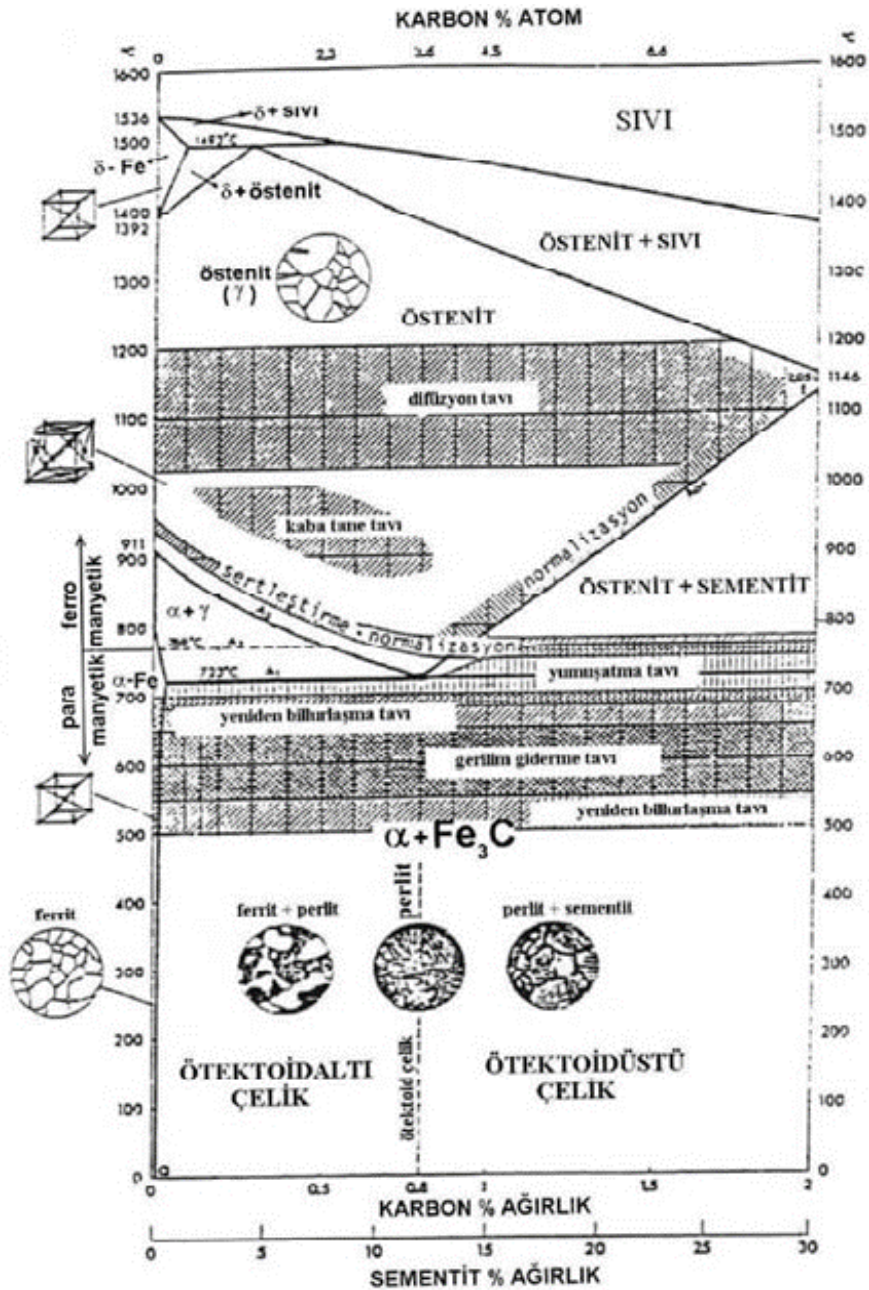
-Talaşlı şekillenebilme özelliğini arttırmak için malzemenin içyapısına tane irileşmesi özelliğı kazandırılabilir.

-Düşük karbonlu çeliklerde, östenit bölgesinde soğutma işleme yapılarak, perlit oranını ferriten daha fazla hale getirilerek, perlitleştirme gerçekleştirilir.

-Çelikteki karışık içyapılarda, yaşlandırma işleme ile sertlik artışı sağlanabilir.

-Çelik yüzeylerinde yüzey sertliğı istenirse, malzemenin yüzeyine karbon atomları nüfuz ettirilerek istenen sertlikte yüzey elde edilebilir. Karbon oranı düşük olan bazı çelikler, yüzeyine difüzyonla karbon verilerek, sertleştirme yapılabilir (Şekil 2.13).

-Soğuk şekillendirme ve sıcak şekillendirmeye üretilmiş cıvatalarda yapılan soğutma sırasında veya ıslah sonucu oluşan kalıntı gerilmeler ısıt işleme minimuma indirilerek, daha düzenli içyapı elde edilir.



Şekil 2.13. Fe-C denge diyagramında çelik bölgeleri ve ısıl işlem bölgeleri

### 2.3.1. Östenitleme sıcaklığına ısıtma

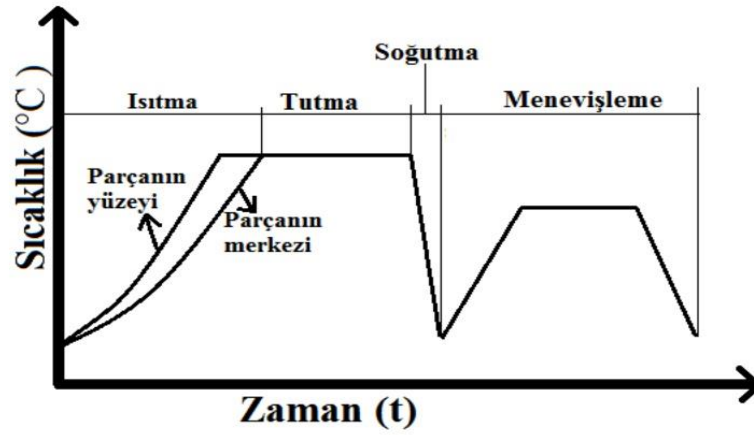
Çeliğin östenit faz bölgesine ısıtma işlemi olarak adlandırılır. Östenitin oluşması için karbon elementinin yayılma hızı önemli rol oynamaktadır. Martenzitin sertlik değeri, içindeki % karbon oranına bağlıdır. Östenitlemeden sonra çekme, akma mukavemeti gibi değerleri etkileyen faktör, östenitlemenin yapı boyunca düzenli olmasıyla ilgilidir. Östenitlemenin homojen olduğu bir çelikte su verilme işlemi sonrası yüksek sertlik noktası elde edilmiş olur.

### 2.3.2. Östenitleme sıcaklık değerinde bekletme

Çelik yapısındaki sementit yapının parçalanarak C elementinin tamamının içyapıda çözünmesi için gereken süredir. 25,4 mm çapında numune için 60 dakikadır (Bartın Üniversitesi, t.y.).

### 2.3.3. AISI 5140 Çeliğine su verme ve martenzitik dönüşüm

Çeliğin östenitleme sıcaklığından, durgun havadaki soğuma hızından daha hızlı bir şekilde soğutulması işlemine su verme denilir (Şekil 2.14). Sertleşme kabiliyeti olan çeliklere su verme işlemi martenzit oluşturmak için yapılır. Bir çeliğin sertleşme kabiliyeti; elde edilen en büyük sertlik ve sertlik derinliği ile ifade edilir. Çelikten elde edilebilecek sertlik karbon oranına, sertlik derinliği ise alaşım elementlerine bağlıdır (Ahmet Çetin Can, 2010).



Şekil 2.14. Islah işleminin grafiği (A. Asım ESER vd., t.y.)

### 2.3.4. Temperleme

Sertleştirilmiş çeliğin mikro yapısında martenzit, beynit ve östenit olabilir. Östenit ve martenzit kararsız mikro yapılarıdır ve dışarıdan verilecek mekanik veya ısı enerjisi ile kararlı duruma geçerler. Çelik sertleştirildikten sonra  $A_{c1}$  sıcaklığının altında ( $<700^{\circ}\text{C}$ ) ısıtılmasına temperleme denir [13].

Menevişleme esnasında kristal kafes içinde hapsedilmiş karbonun bir bölümü ayrılarak serbest karbür tanecikleri oluştururken martenzit yapı da ferrite dönüşmeye çalışır. Bu

dönüşümler menevişleme sıcaklığı yükseldikçe hızlanır. Düşük sıcaklıklar malzemeyi yumuşatmadan gerilmeleri alır. Sıcaklık yükseldikçe parçanın sertliği ve mukavemeti düşerken daha tok ve sünek olur. Sertleştirilmiş çelikler menevişlendiğinde, çekme dayanımı ve akma sınırı artan meneviş sıcaklıklarında sertlikte olduğu gibi, devamlı düşme gösterirler. Buna karşın malzemenin şekil değişebilirlik karakteristikleri olan kopma uzaması, kesit daralması ve çentik darbe dayanımı meneviş sıcaklığı arttıkça artar (Umut KINIT, 2013).

Temperlemeyle sıcaklık ve temperleme süresinde önemli noktalardan biridir. Kısaca, istenen mekanik özelliklere temperleme süresini arttırıp, temperleme sıcaklığına azaltarak veya tam tersini yaparak gerçekleştirilebilir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Ovalama yöntemi

Soğuk şekillendirme yöntemiyle diş açma işlemine ovalama yöntemiyle diş açma denir. Parça iki role arasında ezme mantığıyla dönerek diş açma işlemi sırasında, yüzeyin altında artık gerilmeyi etkileyen birçok sebep arasında ovalama basıncı en önemli sebeplerden biridir. Optimum ovalama basıncı yorulma ömründe iyileştirmeye sebep olurken, düşük ovalama basıncının hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Ovalama basıncı artarsa malzemede mikro çatlaklar oluşur, kırılmaya neden olur (Igor Attenberger, 2005). Ovalama yöntemiyle diş açılırken malzemenin ISO standartlarına uygun diş üstü ölçüsü oluştuktan sonra daha fazla basınç uygulanmaz. Ovalama toplarının diş yüzeyleri arasında işlem sonucunda dişler ve diş sırtları parlak bir yüzeye sahip olur (Şekil 3.1)

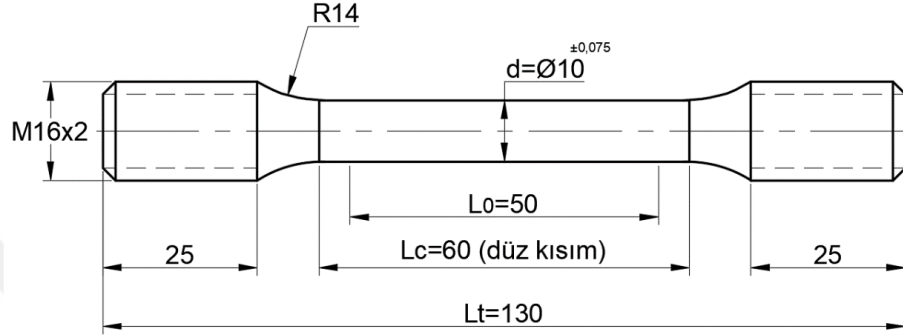


Şekil 3.1. Ovalama ile diş açılmış malzeme

Ovalama işlemini etkileyen parametreler, hammadde ve takım geometrileri, ovalama basıncı ve ovalama paso sayısıdır (Mark D. Richards, 2004). Ovalama işlemi parametrelerinin optimizasyonu deneyler sonucunda ortaya çıkan verilerin karşılaştırılması ile gerçekleşir. Ovalama topları çoğunlukla DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinden yapılır. Ovalama topunun diş adımları civatanın diş ölçüsünü belirler. Doğru diş ölçüsünü elde etmek için civataya uygun ovalama topu seçilmelidir. Diş açısı ve hatve hassasiyeti ovalama topunun hassasiyetine bağlıdır. Ovalama yöntemi ile üretilmiş civatalar yeterli boyutsal hassaslığa, yüzey kalitesine ve gelişmiş mekanik özelliklere sahiptir. Talaş kaldırma işlemi olmadan yani malzeme kaybına uğramadan üretim yapılabilir. Ovalama yöntemi ile civata üretimi tam otomatik tezgâhların birkaç tanesi tek bir operatör tarafından kumanda edilebilir.

### 3.2. Çekme Testi

Çekme testi yapmak için üretilen numuneler ISO 6892-1 standardına uygun şekilde getirilmiştir. Devotrans markalı çekme cihazında testler yapılmıştır. Numunelerin uç kısımları ovalama yöntemiyle M16 diş açılmıştır (Şekil 3.2 ve 3.3). M16 diş açılan kısımlar çekme test cihazının çenelerine yivlenerek çekme testi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.2. Çekme numune gösterimi (TS EN ISO 10002-1)



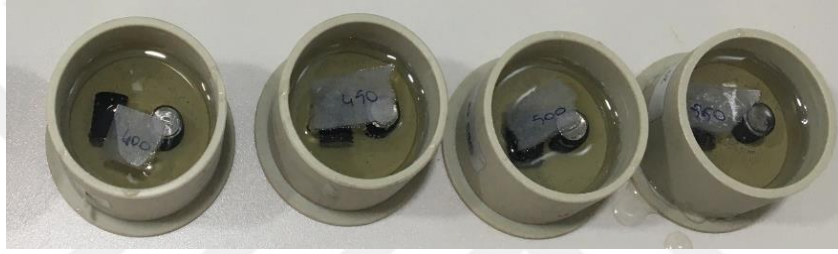
Şekil 3.3. Çekme testi numuneleri



Şekil 3.4. Çekme test cihazı

### 3.3. Mikro Vickers sertlik testi

Test için 15 mm boyunda kesilen parçalar bakalite alınmıştır. Sertlik ölçümü mikro Vickers türünden yapılmıştır. Numunelere ovalama yöntemiyle diş çekilmiştir. Ham AISI 5140 çeliği ve 4 farklı meneviş yapılmış numuneler ve 860 °C de östenitlenip yağda su verilmiş numune sertlik ölçümü yapılmıştır. Bakaleti alınan numuneler Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM- Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Metkon markalı zımparalama ve parlatma cihazında 180, 400, 800, 1200'lük zımpara kağıtları kullanılarak parlatıldıktan sonra sertlik ölçümüne uygun hale getirilmiştir (Şekil 3.5 ve 3.6).



Şekil 3.5. Bakalite alınan parçalar

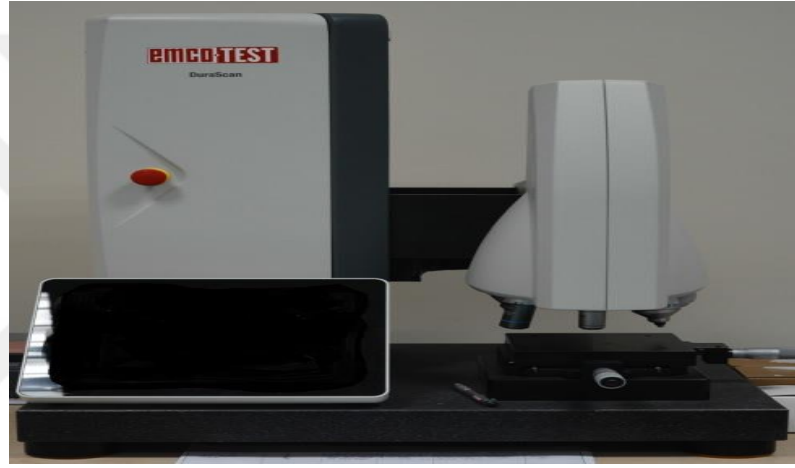


Şekil 3.6. Metkon marka zımparalama ve parlatma makinesi

Zımparalama ve parlatma yapılan yüzeyler mikro Vickers sertlik ölçümü için uygun parlaklığa getirilmiştir (Şekil 3.7).

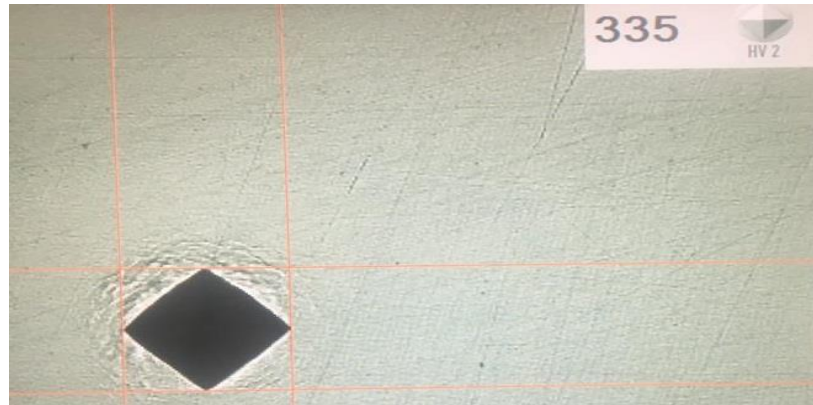


Şekil 3.7. Yüzeyi parlatılmış numune



Şekil 3.8. Mikro Vickers sertlik ölçüm cihazı

Mikro vickers sertlik ölçümü için Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM'da bulunan Emco test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8). Numunelerde yüzeyden merkeze doğru sertlikler ölçülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sertlik ölçümü yapılmış numune

### 3.4. Isıl İşlem

Isıl işlem için hazırlanan numuneler 860 °C'de östenitlenip yağda su verilme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra 4'er adet numune 400 °C,450 °C ,500 °C ,550 °C sıcaklıklarda 30 dakika menevişleme işlemine tabi tutulmuştur. Menevişleme işlemi Nevola marka atmosfer kontrollü fırında yapılmıştır (Şekil 3.10). Fırın içerisine oksijen ve argon gazları verilerek atmosfer kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 3.10. Menevişleme fırını

### 3.5. SEM Görüntüleme

Numunelerin mikro yapılarını ve kristal yapılarını incelemek için Sem incelemesi yapılmıştır. Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM biriminde bulunan Hitachi SU1510 model cihazla SEM görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.11. Sem cihazı

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. 5140 Çelik Özellikleri

Bu çalışmada AISI 5140 ıslah çeliği kullanılmıştır. AISI 5140 ıslah çeliğinin kullanılmasının sebebi; cıvata üretim sektöründe en çok tercih edilen alaşımli çelik olmasındandır. Çalışmada literatürden farklı olarak, ovalanmış AISI 5140 çeliğinin ovalama öncesi sertlik ölçümü, çekme testi ve ovalama sonrası farklı menevişleme sıcaklıkları sonrası oluşan mikro yapı ve buna bağlı gelişen mekanik özellikler incelenmiştir.

#### 4.1.1. AISI 5140 çeliği kimyasal içerik

Çalışmada kullanılan AISI 5140 Islah çeliğinin kimyasal analizi yapılmıştır (Çizelge 4.1.).

**Çizelge.4.1.** AISI 5140 çelik element oranları

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,42	0,24	0,71	0,006	0,016	0,97

Kimyasal içerik sınırları aşağıda belirtilmiştir (*SAE/AISI 4140 Islah Çeliği ve 4140 Çelik Özellikleri*, t.y.-b).

C: 0,38-0,45

Si(max.): 0,40

Mn: 0,60-0,90

P(max.): 0,035

S(max.): 0,035

Cr: 0,90-1,20

Kimyasal analiz sonuçları kullanılan çelik numunelerinin literatürdeki tasnife uygun olduğu anlaşılmaktadır.

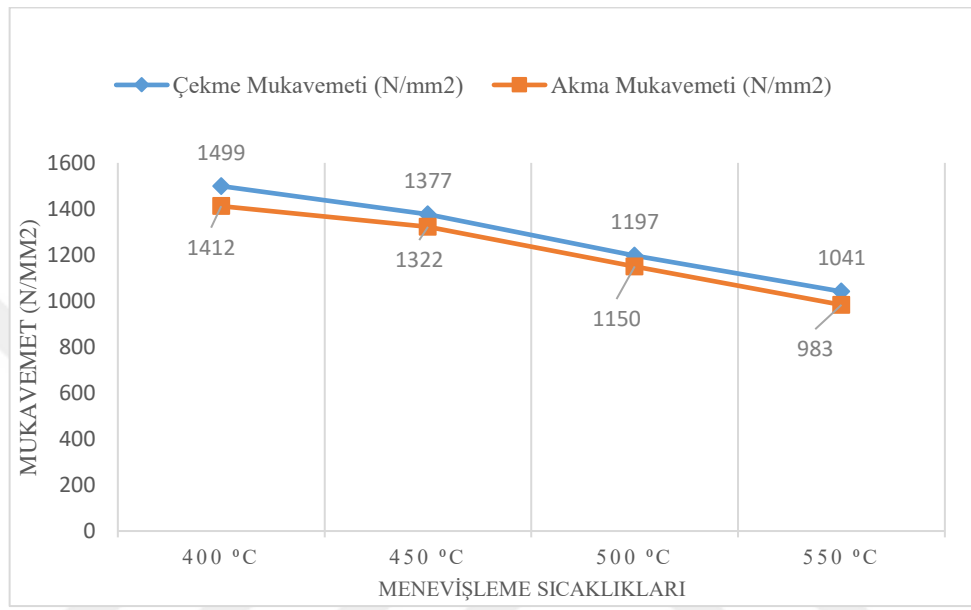
#### 4.1.2. AISI 5140 çeliği özellikleri

Islah grubu çelikler yoğunlukla kullanılmaktadır. Uygun ısıl işlem parametreleri uygulandığı zaman istenen mekanik sonuçları almak mümkündür. Isıl işlem parametrelerini değiştirmek suretiyle farklı sonuçların eldesi görülmüştür.

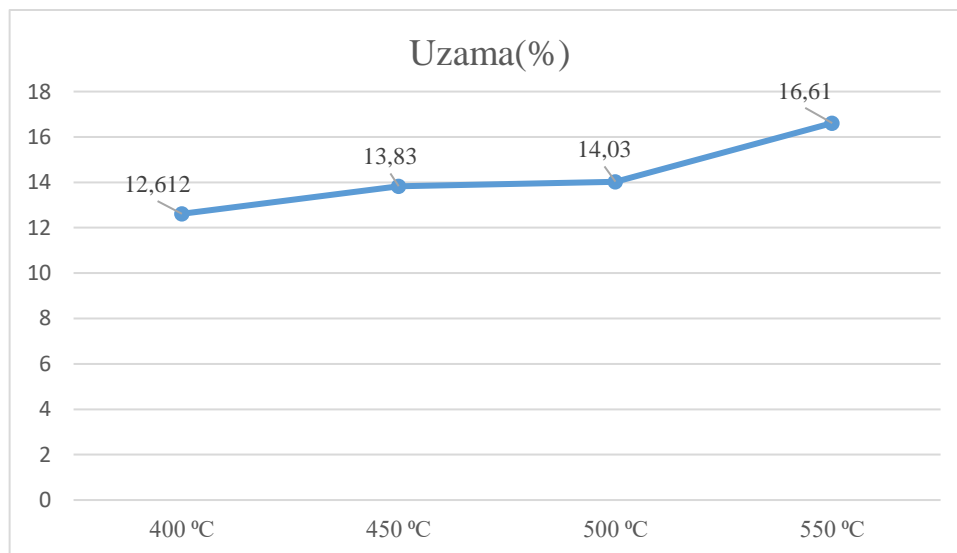
## 4.2. 5140 Çeliğine Menevişlemenin Etkisi

4 farklı sıcaklıkta yapılan menevişleme işlemi sonrası mekanik özelliklerin gelişimi incelenmiştir.

### 4.2.1. Menevişleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi



Şekil 4.1. Menevişleme sıcaklarının çekme ve akma değerlerine etkisi



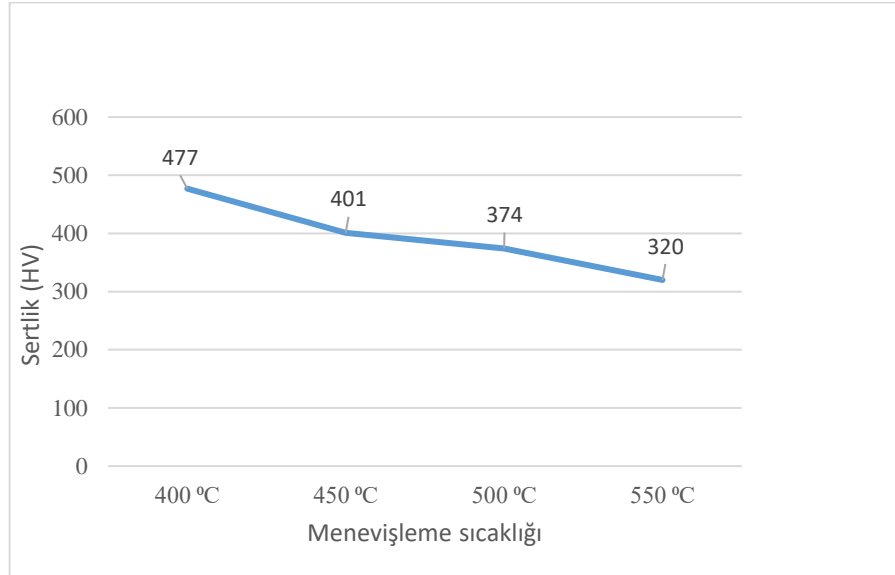
Şekil 4.2. Menevişleme sıcaklığının uzamaya (%) etkisi

Menevişleme sıcaklığı arttıkça çekme ve akma mukavemetlerinde azalma görülürken, uzama değerinde artış olduğu görülmüştür (Şekil 4.1 ve 4.2). Benzer çalışma yapan A. Asım ve arkadaşlarının sonuçları ile kıyaslanmıştır (Şekil 4.3) (A. Asım ESER vd., t.y.). A. Asım ve arkadaşlarının çalışmasında 2 saat 550 °C menevişleme sıcaklığındaki çekme ve akma mukavemet değerleri ve uzama değeri mevcut çalışmalardaki değerlerden düşük olduğu görülmüştür (A. Asım ESER vd., t.y.). Bunun nedeni ise menevişleme sıcaklığı kadar meneviş süreside kritik öneme sahip olmasıdır.

Menevişleme Sıcaklığı (°C)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma sınırı (MPa)	Uzama (%)
350	1650	1438	9,4
550	988	858	10,5
650	863	695	19

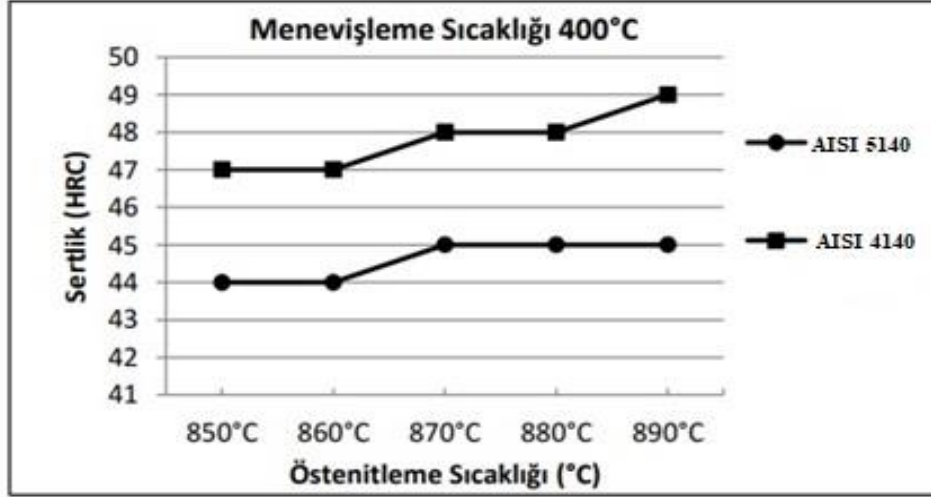
Şekil 4.3. AISI 5140 çeliğine 2 saatlik menevişleme sonrası mekanik değerler

#### 4.2.2. Menevişleme sıcaklığının sertliğe etkisi



Şekil 4.4. 30 dakika menevişleme sıcaklığının sertliğe etkisi

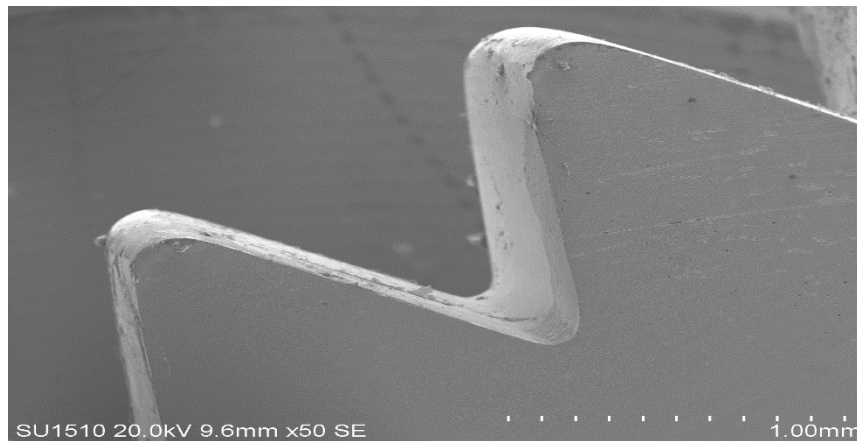
Menevişleme sıcaklığı arttıkça sertlik değerlerinde azalma görülmüştür. A. Asım ve arkadaşlarının çalışmalarında 860 °C’de östenitlenip (Şekil 4.5.) suda su verilip 400 °C’de (120 dakika) menevişlenen AISI 5140 çeliğinin sertliği 47 HRC gerekirken mevcut çalışmada 477 HV’dir (47,5 HRC) (A. Asım ESER vd., t.y.). Her iki çalışmadaki değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.



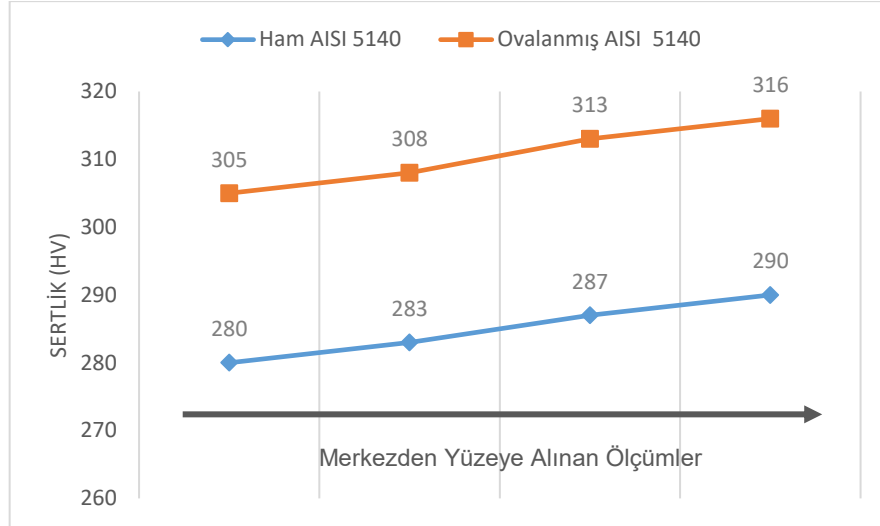
Şekil 4.5. 400 °C’de menevişlenen AISI 5140 ve AISI 4140 çeliği sertlik karşılaştırması

### 4.3. Ovalanmış 5140 Çeliğin Özellikleri

Ovalanmış 5140 çeliğine çekme testi yapılmamıştır. Sebebi yeterli basınçla ovalanan çelikte dış derinliği artıp, dış formu oluştuğu için çekme testinde çentik etkisi yapacaktır. Çentik etkisi sebebiyle mekanik değerlerde gerçek sonuçlar elde edilmeyecektir.



Şekil 4.6. Ovalama yöntemiyle dış formu oluşmuş AISI 5140 çeliği SEM görüntüsü

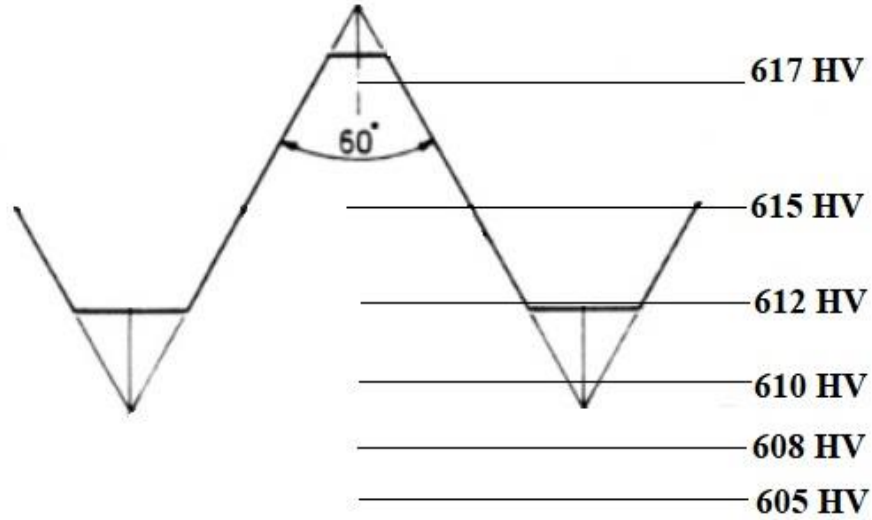


**Şekil 4.7.** Ham AISI 5140 çeliği ile ovalanmış AISI 5140 çeliği sertlik karşılaştırması

Ovalanmış dış çekilmiş, ısıl işleme tabi tutulmamış AISI 5140 çeliğinin dış üstü sertliği 316 HV' ye kadar çıkarken, dış dibi sertliği 305 HV olarak ölçülmüştür (Şekil 4.6). Ham 5140 çeliğinin ise sertlik değeri 280 HV -290 HV aralığındadır (Şekil 4.7). Ovalama işlemi ile dış açma işlemi sonrasında, pekleşme etkisiyle işlemde etkilenen civata dış üstü bölgesinde sertlik değeri artar [16]. Çalışma kapsamında dış üstü sertliklerinin pekleşme miktarından dolayı ham malzemeye göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Altenberger I. 'in yapmış olduğu çalışmalar mevcut sonuçları desteklemektedir.

#### 4.3.1. Ovalanmış ve 860 °C'de östenitlenip yağda su verilen AISI 5140 çeliği sertlik testi

Ovalama yöntemiyle dış açılmış AISI 5140 çeliği 860 °C sıcaklıkta östenitlenip yağda su verildikten sonra sertlik ölçümü yapılmıştır. Malzemede kesit alınmış gibi zımparalanıp parlatıldıktan sonra yapılan testte, sertliğin merkezden dış üstü kısmına doğru artış olduğu tespit edilmiştir. Çeliğin merkezinde 605 HV-607 HV aralığında sertlik ölçülürken, dış dibinden dış üstüne doğru 612 HV-617 HV sertlik ölçülmüştür.



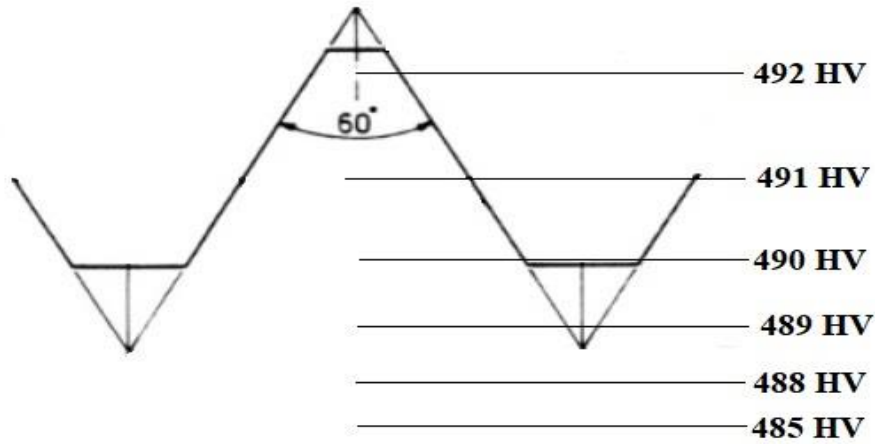
Şekil 4.8. Ovalanıp 860 °C’de östenitlenip yağda su verilmiş AISI 5140 çeliği sertlik değerleri

	Östenitleme Sıcaklığı (°C)				
	850	860	870	880	890
AISI 5140	57 HRC	58 HRC	57 HRC	58 HRC	59 HRC

Şekil 4.9. 860 °C’de östenitlenen AISI 5140 çeliği sertlik değerleri

A. Asım ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada suda su verme sonrası sertlik sonuçları Şekil 4.9 ‘da verilmiştir (A. Asım ESER vd., t.y.). Tez kapsamındaki çalışmadaki sertlik sonuçlarına yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür.

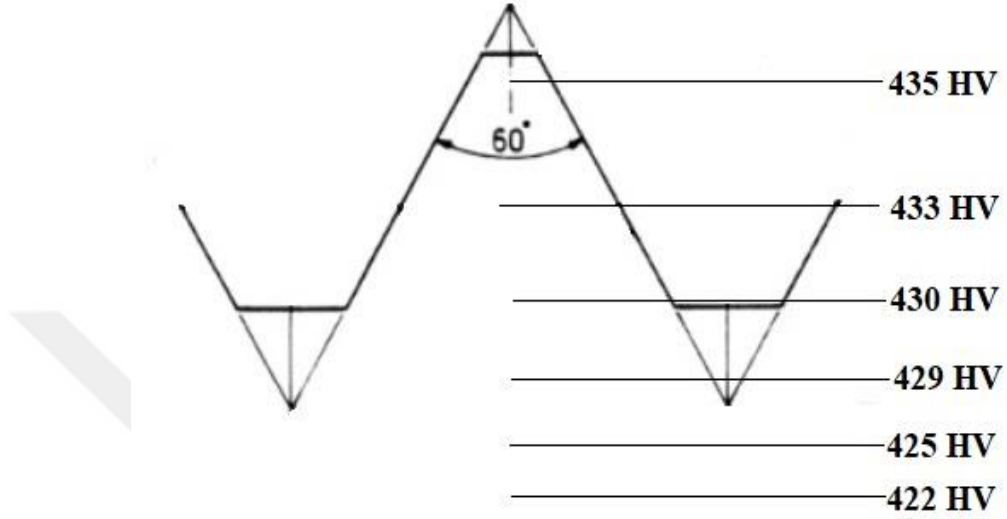
#### 4.3.2. Ovalanmış ve 400 °C’de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi



Şekil 4.10. Ovalanmış ve 400 °C’de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik değerleri

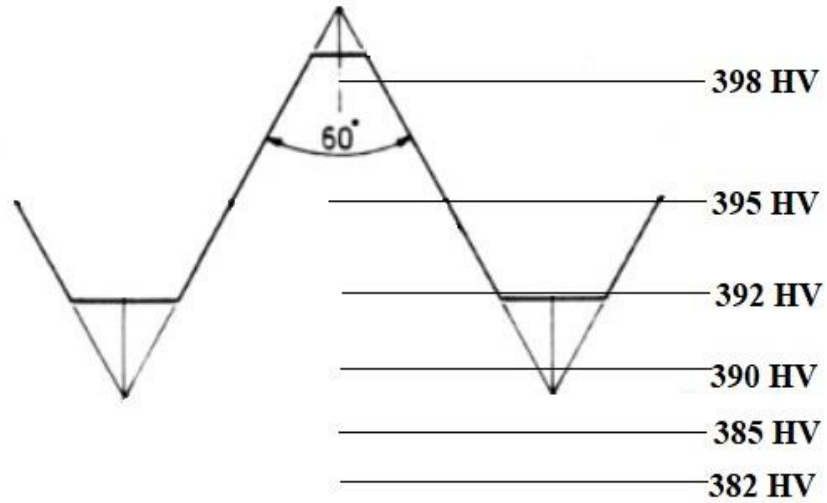
Malzeme merkez sertliği 485 HV iken diş üstünde sertlik 492 HV olarak ölçülmüştür.

#### 4.3.3. Ovalanmış ve 450 °C'de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi



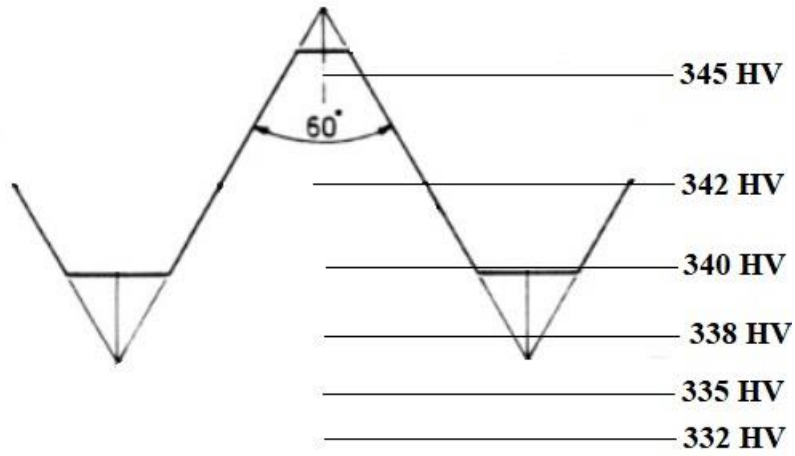
şekil 4.11. Ovalanmış ve 450 °C'de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik değerleri

#### 4.3.4. Ovalanmış ve 500 °C'de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi



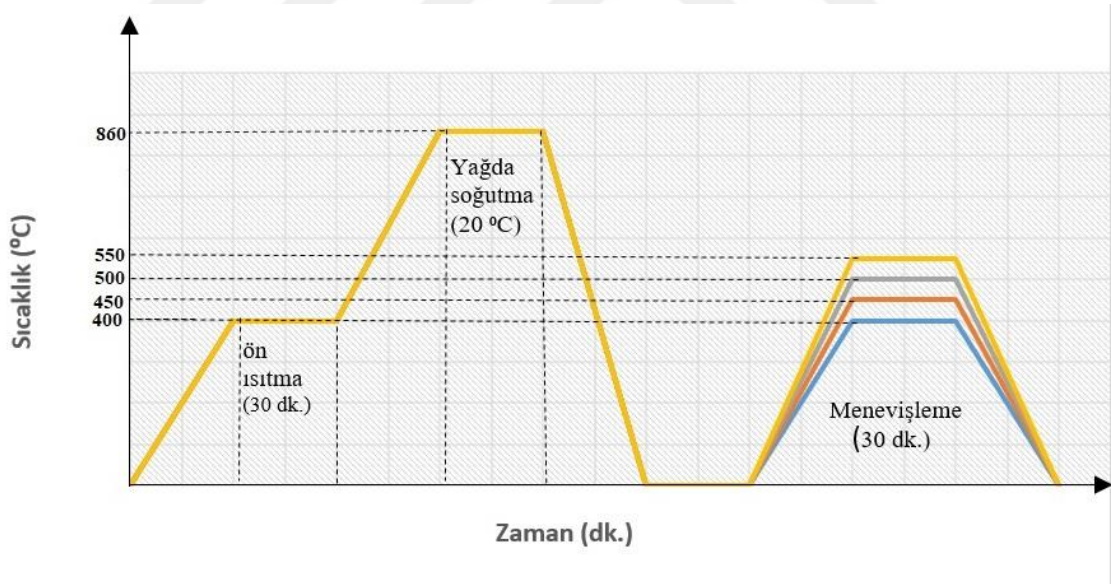
şekil 4.12. Ovalanmış ve 500 °C'de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik değerleri

#### 4.3.5. Ovalanmış ve 550 °C'de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik testi



Şekil 4.13. Ovalanmış ve 550 °C'de menevişlenmiş AISI 5140 çeliği sertlik değerleri

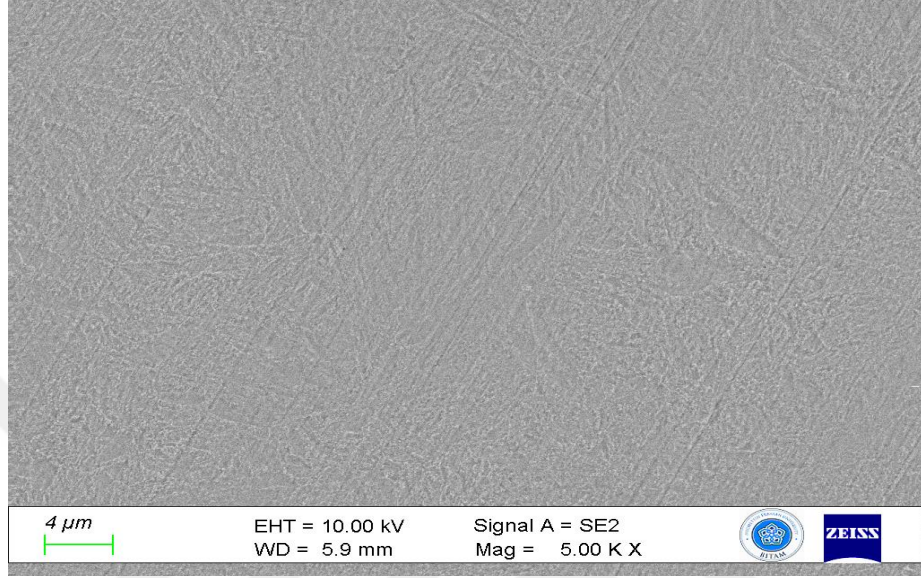
Menevişleme işlemi sonrasında en yüksek sertliğin diş üstü kısımlarında olduğu tespit edilmiştir. Diş üstünün, çeliğin merkezinden 10-115 HV daha yüksek olduğu görülmüştür.



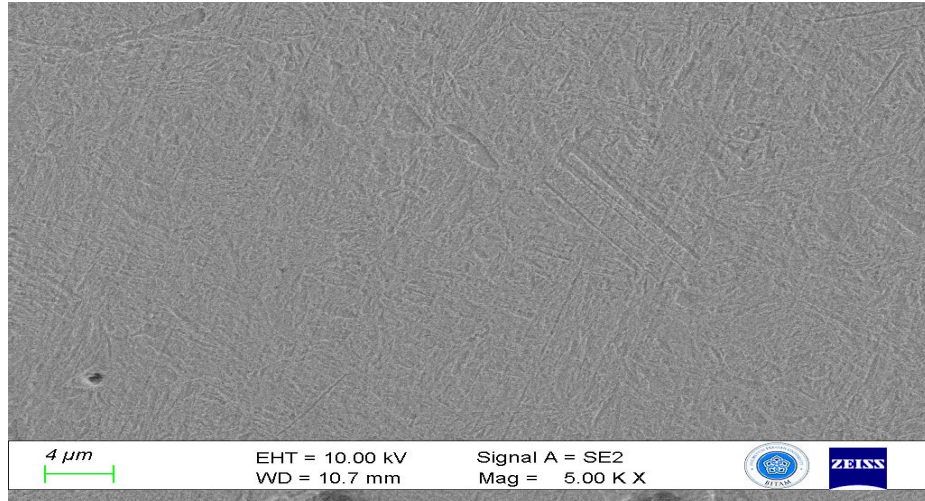
Şekil 4.14. AISI 5140 çeliği ısıtma işlemi diyagramı

#### 4.4.SEM İnceleme

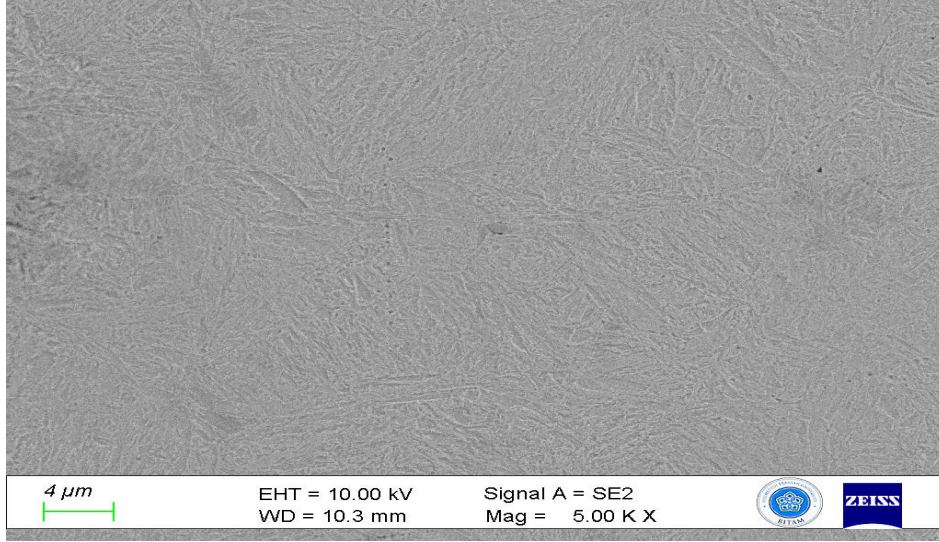
Taramalı elektron mikroskobu, elektron mikroskopunun en yaygın kullanılan türüdür. Malzeme yüzeyini taramak suretiyle mikroskobik olarak inceleyen cihazdır (*Norm Fasteners* /, t.y.).



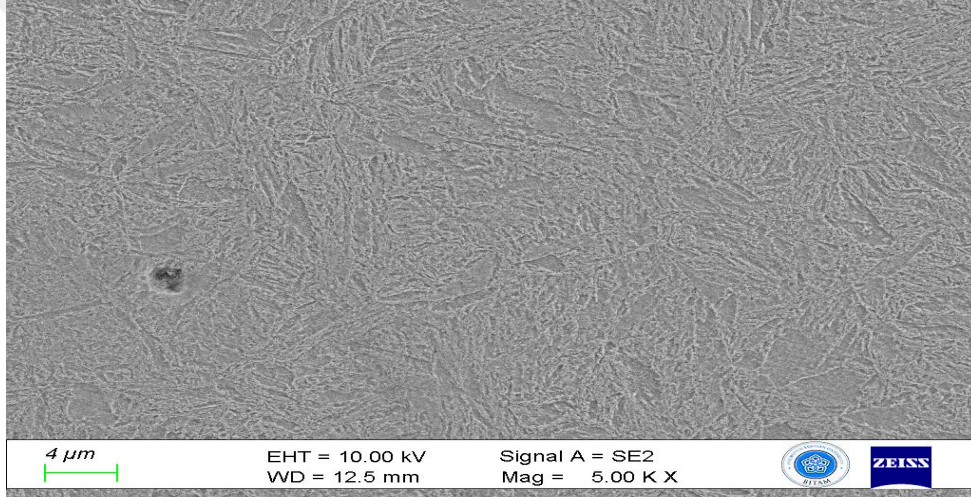
Şekil 4.15. 400 °C menevişlemede iç yapı



Şekil 4.16. 450 °C menevişlemede iç yapı

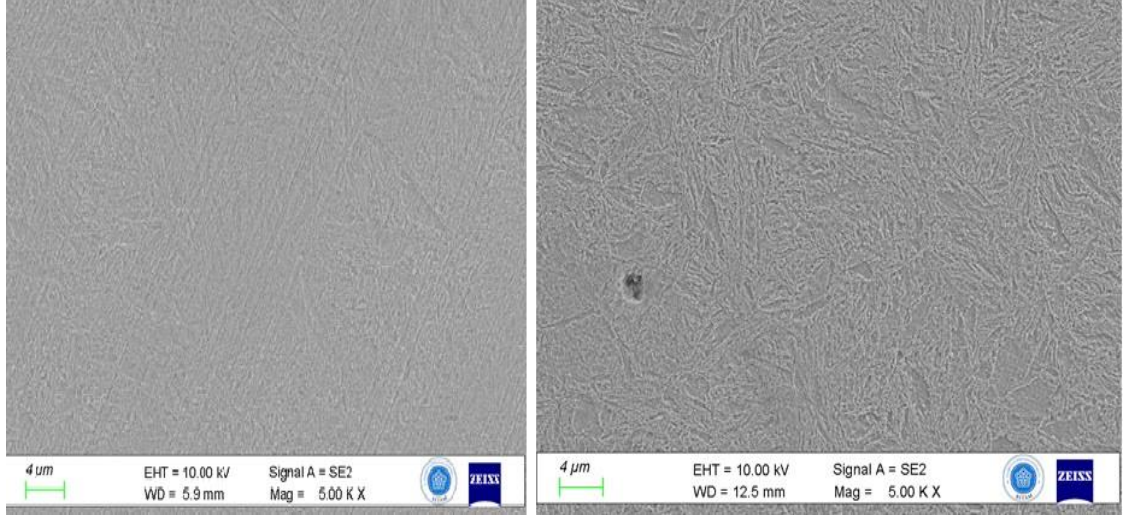


**Şekil 4.17.** 500 °C menevişlemede iç yapı



**Şekil 4.18.** 550 °C menevişlemede iç yapı

860 °C östenitlenip yağda su verilen AISI 5140 çeliğine yağda su verildiğinde yüzeydeki yapı martenzitik yapıya dönüşmüştür. 400 °C menevişlenmiş çelikte sementit oluşmuştur (Şekil 4.15'ten 4.18'e). Fakat büyük sementit adacıklarının (bölgeleri) büyüyemediği görülmüştür. Menevişleme sıcaklığının artmasıyla 550 °C'de koyu gri bölgelerle beyaz bölgeler daha belirgin hale gelmiştir.



**Şekil 4.19.** 400 °C menevişleme ile 550 °C menevişleme arasındaki SEM görüntüleri karşılaştırması

400 °C de daha homojen içyapı görülürken ayrışmanın belirgin olmadığı tespit edilmiştir. Sementit bölgelerinin büyümediği görülmüştür. Kafes yapısındaki katı eriyik şeklindeki karbonların kafes yapısındaki sıkıştıkları yerlerden kurtulup  $Fe_3C$  teşekkül etmeleri, ikinci fazlar daha küçük ve daha homojen bir şekilde yayılmış durumdadır. 550 °C sıcaklıkta difüzyon hızındaki artıştan dolayı ayrışma daha çok gerçekleşmiştir. Menevişleme sıcaklığı arttıkça martenzit boyut olarak küçülmüştür.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1.Sonuçlar

AISI 5140 çeliği 400 °C sıcaklıkta 30 dk. ön ısıtma yapıldıktan sonra,860 °C’de östenitlenip yağda su verme işlemine tabi tutulmuştur. 4 farklı sıcaklıkta menevişlenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- 860 °C sıcaklıkta malzeme martenzit yapıda olduğu için sertlik değeri 617 HV olduğu ölçülmüştür.
- Ovalama işlemiyle dış açılıp, menevişlenmiş numunelerde dış üstü sertliğinin en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Çeliğin merkezine doğru sertlikte azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Ovalama basıncı ile çelikte pekleşme etkisiyle dışlarda en yüksek sertlik değerinin olduğu görülmektedir.
- 400 °C sıcaklıkta 30 dk. menevişlenen numunelerin, diğer numunelere oranla çekme mukavemeti ve akma mukavemetinin en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Menevişleme sıcaklığının artmasıyla çekme ve akma mukavemet değerlerinin azaldığı, uzama (%) değerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Sem incelemesinde 860 °C’de yağda su verilen numunede görülen martenzit yapı gözlenmiştir.
- Ham haliyle 280-290 HV sertlikteki AISI 5140 çeliğinin ovalama yöntemiyle dış çekildikten sonra, dış dibi sertliğinin 305 HV, dış üstü sertliğinin 316 HV olduğu tespit edilmiştir.
- Ovalanmış 5140 çeliğine çekme testi yapılmamıştır. Uygun basınçla ovalanan çelikte dış derinliği artıp, dış formu oluştuğu için çekme testinde çentik etkisi yapacaktır. Çentik etkisi sebebiyle mekanik değerlerde gerçek sonuçlar elde edilmeyeceği yorumlanmıştır.

## 5.2. Öneriler

- Farklı çalışmalarda AISI 5140 çeliğinin farklı C ve Cr içerikli numunelerinin aynı menevişleme sıcaklığı sonrası mekanik ve sertlik değerleri üzerine inceleme yapılabilir.
- AISI 5140 çeliğine uygulanan menevişleme süreleri (dk.) değiştirilerek sonuçlar incelenebilir. Farklı menevişleme süreleri uygulanırken, artan enerji maliyetlerinden dolayı meneviş süresindeki artışın maliyet açısından önemine dikkat edilmelidir.
- Tez kapsamında mekanik değerler, sertlik, Sem görüntüleri incelenirken farklı çalışmalarda yorulma, aşınma değerleri incelenebilir.
- AISI 5140 çeliği yerine alternatif bir ıslah çeliği belirlenip farklı ısı işleme parametreleri uygulanıp mekanik değerler, sertlik, çentik testi sonuçları değerlendirilebilir.

## 6.KAYNAKLAR

- A. Asım ESER, Emre GÖKÇİL, & Seracettin AKDI. (t.y.). *Farklı Islah Çeliklerin Östenitleme ve Menevişleme Sıcaklık Parametresinin Mekanik Özelliklere Etkisi*.
- Ahmet Asım Eser. (2016). Farklı Islah Çeliklerin Östenitleme ve Menevişleme Sıcaklık Parametresinin Mekanik Özelliklere Etkisi. *Isıl İşlem Sempozyumu*, 223-234.
- Ahmet Çetin Can. (2010). Tasarımcı Mühendisler için Malzeme Bilgisi. İçinde *Tasarımcı Mühendisler için Malzeme Bilgisi*. Birsen Yayınevi.
- Asil Çelik. (2000). *Asil Çelik Teknik Yayınlar 5 / Sementasyon Çelikleri*. Asil Çelik.
- Bartın Üniversitesi. (t.y.). *Ostenitleştirme sıcaklığı ve Ostenitin Homojenliği*.
- Bünyamin YAMANEL. (2018). *Farklı Sıcaklıklarda Menevişlenmiş ve Borlama İşlemine Tabi Tutulmuş SAE 5140 Çeliğinin Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Burçin AYDINOĞLU. (2002). *Az Alaşımli Krom-Molibden Çeliklerinin Yapı Kontrolü* [Yüksek Lisans Tezi]. Fen bilimleri Enstitüsü.
- Cahit TÖRE. (2007a). *Bağlama Elemanları (Cıvata ve Somun)*.
- Cahit TÖRE. (2007b). *Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri*.
- Gültekin UZUN. (2008). *Farklı Isıl İşlemlerin Ç 5140 Çeliğinin İşlenebilirliğine Etkisinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Igor Attenberger. (2005). . Deep Rolling The Past, The Present and The Future. *International Conferences on Shot Peening*, 144-155.
- ISO 898-1, (2013).
- Mark D. Richards, D. K. M. and J. G. S. (2004). *Deep Rolling Response of Notched Medium Carbon Bar Steels*.
- Norm Cıvata San. Ve Tic. A.Ş. Eğitim Notları*. (2015).
- Norm Fasteners* /. (t.y.). Geliş tarihi 05 Aralık 2022, gönderen <http://normfasteners.com/>.
- SAE/AISI 4140 Islah Çeliği ve 4140 Çelik Özellikleri*. (t.y.-a). Geliş tarihi 05 Aralık 2022, gönderen <https://hascelik.com/celiklerin-siniflandirilmesi/islah-celikleri>.
- SAE/AISI 4140 Islah Çeliği ve 4140 Çelik Özellikleri*. (t.y.-b). Geliş tarihi 05 Aralık 2022, gönderen <https://hascelik.com/celiklerin-siniflandirilmesi/islah-celikleri>.
- Umut KINIT. (2013). *30mnb4 Cıvata Malzemesinin Statik Dayanım Değerlerinin Değişik Isıl İşlem Türlerine Göre Deneysel İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.

