

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÖVME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PARÇALARDA
ALTERNATİF ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Güray ÇAKIR

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

MAYIS 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÖVME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PARÇALARDA
ALTERNATİF ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Güray ÇAKIR

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mediha İPEK

MAYIS 2023

Güray ÇAKIR tarafından hazırlanan “DÖVME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PARÇALARDA ALTERNATİF ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 18.05.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Unvan Adı SOYADI Sakarya Üniversitesi	Prof.Dr. Süleyman Can Kurnaz
Jüri Üyesi :	Unvan Adı SOYADI Sakarya Üniversitesi	Prof.Dr. Mediha İPEK
Jüri Üyesi :	Unvan Adı SOYADI Sakarya Üniversitesi	Doç.Dr. Gözde Fatma Çelebi Efe

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “DÖVME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PARÇALARDA ALTERNATİF ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

18/05/2023

Güray ÇAKIR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim esnasında, geçirdiği sağlık problemlerine rağmen desteğini esirgemeyen, tezimin deney aşamasında vefatını büyük bir üzüntü ile öğrendiğim, üzerimizde çok büyük emeği olan yüksek lisans tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sakin Zeytin'i saygı ve rahmetle anıyorum. Kendisinden sonra tez danışmanlığımı kabul eden, beni yönlendiren hocam Sayın Prof. Dr. Mediha İpek'e ve çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Cuma Bindal'a teşekkür ederim.

Çalışmamla ilgili bilgiye ulaşmamda bana destek sağlayan, özellikle deney aşamalarında yardımlarını gördüğüm, Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş. çalışanlarından, değerli iş arkadaşlarım Sayın Sefer Koçak ve Sayın Fatih Özbağ' a teşekkür ederim. Çalışmalarımın başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen, değerli yöneticilerim Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş. Genel Müdür'ü Sayın Osman Sever'e ve Teknik Direktör'ü Sayın Tezay Kartal'a teşekkür ederim.

Son olarak; eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olduklarını hissettiğim, üzerimde büyük emeği olan aileme, yüksek lisans eğitimim sürecinde anne olmanın heyecanı ve zorluklarına rağmen fedakarlık gösteren, sabırla her türlü desteğini sağlayan hayat arkadaşım, sevgili eşim Gupse Çakır'a sonsuz teşekkür ederim.

Güray ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI	5
2.1. Kompozisyonlarına Göre Sınıflandırma	5
3. ISLAH ÇELİKLERİ.....	7
3.1. Alaşım Elementlerinin Islah Çeliklerine Etkileri	10
3.1.1. Karbon (C) ve etkisi	13
3.1.2. Mangan (Mn) ve etkisi	13
3.1.3. Krom (Cr) ve etkisi	14
3.1.4. Molibden (Mo) ve etkisi	15
3.2. C45 Çeliği	16
3.2.1. C45 Çeliğinin fiziksel özellikleri	17
4. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ.....	19
4.1. Tavlama	19
4.1.1. Normalizasyon tavlaması	20
4.1.2. Yumuşatma tavlaması	21
4.1.3. Gerilim giderme tavlaması	21
4.1.4. Yeniden kristalleşme tavlaması	22
4.1.5. Difüzyon tavlaması	22
4.2. Sertleştirme.....	23
4.2.1. Isıtma işlemi	24
4.2.2. Sertleştirme sıcaklığında tutma	25
4.2.3. Ani soğutma	25
4.3. Temperleme	29
4.3.1. C45 Çeliğinin mekanik özellikleri	31
4.3.2. C45 Çeliğinin kimyasal özellikleri ve kimyasal kompozisyonları	32
4.3.3. C45 Çeliğinin kullanım alanları	32
4.4. 42CrMo4 Çeliği.....	33
4.4.1. 42CrMo4 Çeliğinin fiziksel özellikleri	34
4.4.2. 42CrMo4 Çeliğinin mekanik özellikleri	34
4.4.3. 42CrMo4 Çeliğinin kimyasal özellikleri ve kimyasal kompozisyonları	35
4.4.4. 42CrMo4 Çeliğinin kullanım alanları	36
5. OTOMOBİLLERDE DİREKSİYON VE SÜSPANSİYON SİSTEMİ.....	37

5.1. Direksiyon Sistemi	38
5.1.1. Kremayer, pinyon direksiyon sistemi	40
5.1.2. Konvensiyonel direksiyon sistemi	40
5.2. Süspansiyon Sistemi.....	40
5.2.1. MacPherson süspansiyon sistemi	41
5.2.2. Çift salıncaklı süspansiyon sistemi	43
5.3. Direksiyon ve Süspansiyon Sistemi Elemanları.....	44
5.3.1. Rotil.....	45
5.3.2. Rot başı.....	45
5.3.3. Rot mili.....	46
5.3.4. Z-Rot (denge çubuğu)	47
5.3.5. Salıncak kolu	48
5.3.6. Burç	48
5.3.7. Çeki kolu	49
5.3.8. Rot kolu	50
5.3.9. Pitman kolu	50
5.3.10. İdler kolu	51
6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM.....	53
6.1. Amaç.....	53
6.2. Deneysel Çalışmada İzlenen Yol.....	53
6.3. Karakterizasyon	55
6.3.1. Mikroyapı	55
6.3.2. Sertlik	55
6.3.3. Çekme testi	55
6.3.4. Çentik darbe testi.....	56
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	57
7.1. Mikroyapı	57
7.2. Sertlik	60
7.3. Çekme Testi.....	61
7.4. Darbe Testi	63
8. GENEL SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
Mo₂C	: Molibden Karbür
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
EN	: European Standard (Avrupa Standartları)
JIS	: Japanese Industrial Standards (Japon Endüstriyel Standartları)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
ASTHRC	: Rockwel Sertlik
BS	: British Standards (İngiliz Standartları)
HB	: Brinel Sertlik
Ms	: Martenzit Başlangıç Sıcaklığı
FeO	: Demir Oksit
Fe₃C	: Demir Karbür
SUV	: Sports Utility Vehicle (Sportif Çok Amaçlı Araç)
SAE	: Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)

SİMGELER

C	: Karbon
Mn	: Mangan
Cr	: Krom
Mo	: Molibden
°C	: Celcius (Sıcaklık)
TTT	: Time Temperature Transformation (Zaman Sıcaklık Dönüşümü)
Si	: Silisyum
Ni	: Nikel
Al	: Aluminyum
W	: Tungsten
V	: Vanadyum
Co	: Kobalt
S	: Kükürt
P	: Fosfor
Fe	: Demir

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Islah Çeliklerinin Kullanım Alanları [8].....	9
Tablo 3.2. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapılarına Etkileri [9]	12
Tablo 3.3. C45 Çelik Standart Eşdeğer Tablosu [8].....	17
Tablo 3.4. C45 Çeliği Yoğunluk Değeri [15].....	17
Tablo 3.5. C45 Çeliği Kimyasal Kompozisyon Tablosu [8].....	32
Tablo 3.6. 42CrMo4 Çelik Standart Eşdeğer Tablosu [8].....	33
Tablo 3.7. 42CrMo4 Çeliği Mekanik Özellikleri [20]	35
Tablo 3.8. 42CrMo4 Çeliği Kimyasal Kompozisyon Tablosu [22]	35
Tablo 6.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Bileşimi, %.....	53
Tablo 7.1. Su Verme Sonrası Sertlik, HV0,3	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1. Isıl İşlem Kademeleri [23]	19
Şekil 4.2. Demir Karbon Denge Diyagramında Tavlama Sıcaklık Aralıkları [25] ...	20
Şekil 4.3. Sertleştirme Kademeleri	24
Şekil 4.4. Sıcaklığa Bağlı Olarak Dönüşüm Hızı ve Soğutma Hızı [29].....	25
Şekil 4.5. Su Verme Sırasında Oluşan Artık Gerilmelerin Neden Olduğu Su Verme Çatlaklarının Oluşumu [32].....	26
Şekil 4.6. Doğrudan Su Verme İşlemi [31]	28
Şekil 4.7. Kesikli Su Verme İşlemi [33].....	29
Şekil 4.8. Kademeli Su Verme İşlemi [33].....	29
Şekil 4.9. 42CrMo4 Çeliğinin Temperleme Sıcaklığına Bağlı Olarak Sertlik ve Darbe Dayanımı Değişimi [21].....	30
Şekil 5.1. Otomobil Direksiyon ve Süspansiyon Sistemi Genel Görünümü [37].....	37
Şekil 5.2. Direksiyon Sistemi Genel Görünümü [37]	38
Şekil 5.3. Elektro-Hidrolik Direksiyon Sistemi [37]	39
Şekil 5.4. Süspansiyon Sistemi Ön Görünümü [37]	41
Şekil 5.5. MacPherson Süspansiyon Sistemi Ön Aks Elemanları [39]	42
Şekil 5.6. MacPherson Süspansiyon Sistemi Ön Aksı.....	43
Şekil 5.7. Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi Elemanları [37].....	44
Şekil 5.8. Farklı Tasarımlarda Rotil Çeşitleri [37]	45
Şekil 5.9. Rot Başı ve Rot Başı Tasarım Yapısı [37]	46
Şekil 5.10. Rot Mili [37]	47
Şekil 5.11. Z-Rot (Denge Çubuğu) [37]	47
Şekil 5.12. Salıncak Kolu [37].....	48
Şekil 5.13. Burç ve Salıncak Kolu Üzerinde Bağlantısı [37]	49
Şekil 5.14. Ağır Ticari Araçlarda Kullanılan Çeki Kolu [37].....	50
Şekil 5.15. Farklı Bağlantı Çeşitlerine Göre Rot Kolu Örnekleri [37]	50
Şekil 5.16. Pitman Kolu [37]	51
Şekil 5.17. İdler Kolu [37]	52
Şekil 6.1. Sıcak Dövme Sonrası a) Rotil (C45) b) Pitman Kolu (42CrMo4)	54
Şekil 6.2. a) Ditaş Firmasında Uygulanan b) Dövme Isısını Kullanarak Gerçekleştirilen Sertleştirme Isıl İşlemi.....	54
Şekil 6.3. Çekme Testi İçin Çubuk Boyutu	55
Şekil 6.4. Çekme Testi İçin Hazırlanan Çubuğun Makro Görüntüsü	55
Şekil 6.5. V-Çentikli Charpy Darbe Testi Numune Boyutu	56
Şekil 6.6. Darbe Testi İçin Hazırlanan Numune Makro Görüntüsü	56
Şekil 7.1. Geleneksel Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı a) 200X, b) 500X.....	57
Şekil 7.2. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı, a) 200X, b) 500X.....	58

- Şekil 7.3.** Geleneksel Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnc Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı a) 200X, b) 500X 58
- Şekil 7.4.** Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı, a) 200X, b) 500X 58

DÖVME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PARÇALARDA ALTERNATİF ISIL İŞLEM UYGULAMALARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Otomobil direksiyon ve süspansiyon sistemi parçaları üretiminde sıcak dövme sonrası malzeme yapısındaki iç gerilmeleri gidermek, ısıya ve korozyona karşı direncini yükseltmek, işlenebilirliğini arttırmak, istenen bir sertlik değerine getirmek ve bunun gibi bazı mekanik özellikler kazandırmak amacıyla farklı ısıl işlem metodları uygulanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, direksiyon ve süspansiyon sistemi parçalarında kullanılan sıcak dövme ile şekillendiren C45 (SAE 1045) ve 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çelik parçalarda, halihazırda uygulanan geleneksel metoda (dövme sonrası oda sıcaklığına soğutulan parçalar sertleştirme ısıl işlemine tabi tutulur ve ardından temperlenir) alternatif sertleştirme ısıl işlemi uygulayarak (dövme sonrası soğumaya bırakılan parçaların sıcaklığı ostenitleme sıcaklığına düştüğünde su verme ortamında daldırılmış ve ardından geleneksel yöntemde belirlenen sıcaklık ve sürede temperlenmişlerdir) mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Geleneksel ısıl işlem metodu uygulanan C45 çeliği numunesinden 3 adet, alternatif ısıl işlem metodu uygulanan C45 çeliği numunesinden 3 adet, geleneksel ısıl işlem metodu uygulanan 42CrMo4 çeliği numunesinden 3 adet, alternatif ısıl işlem metodu uygulanan 42CrMo4 çeliği numunesinden 3 adet olmak üzere toplam 12 adet numune parça hazırlanmıştır.

3 Adet C45 Numunesi Geleneksel Yöntem Isıl İşlem Uygulaması: Dolu Ø32 çapta çubuk malzeme, çelik firmalarından tedarik edilmiş, rotül dövme taslak boylarında kesilmiş ve sıcak dövme işlemi için hazırlanmıştır. Taslak malzemeye dövme öncesi indüksiyonla ön ısıtma işlemi yapılmış, 1100 – 1250 °C sıcaklık aralığında havalı şahmerdan preste dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hemen arkasından da 150 tonluk eksantrik pres makas ile sıcak dövme taslak parça çıkarılmıştır. Dövme sonrasında havada soğutularak oda sıcaklığına getirilen numuneler, 840 – 870 °C sıcaklık aralığında tav fırınında ostenit faz sıcaklığına getirilmiş inç başına 1 saat bekletildikten sonra ve yağda su verilmiştir. Ardından su verilmiş parçalar 525 – 555 °C sıcaklık aralığında temperlemeye tabi tutularak temperleme tutma süresi sonrası havada soğutulmuştur.

3 Adet C45 Numunesi Alternatif Yöntem Isıl İşlem Uygulaması: Dolu Ø32 çapta çubuk malzeme, çelik firmalarından tedarik edilmiş, rotül dövme taslak boylarında kesilmiş ve sıcak dövme işlemi için hazırlanmıştır. Taslak malzemeye dövme öncesi indüksiyonla ön ısıtma işlemi yapılmış, 1100 – 1250 °C sıcaklık aralığında havalı şahmerdan preste dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hemen arkasından da 150 tonluk eksantrik pres makas ile sıcak dövme taslak parça çıkarılmıştır. Sıcak dövme sonrasında havada kontrollü soğutulan C45 malzeme rotül gövde numunesinin sıcaklığı 850 – 880 °C aralığına düştüğünde, önceden hazırlanmış %5 konsantreli su – polimer sıvısı içine su verilmiştir. Sonrasında geleneksel yöntemdeki temperleme

sıcaklığı olan 525 – 555 °C sıcaklık aralığında temperleme işlemi yapılarak, havada soğutulmuştur.

3 Adet 42CrMo4 Numunesi Geleneksel Yöntem Isıl İşlem Uygulaması: Dolu Ø60 çapta çubuk malzeme, çelik firmalarından tedarik edilmiş, pitman kolu dövme taslak boylarında kesilmiş ve sıcak dövme işlemi için hazırlanmıştır. Taslak malzemeye dövme öncesi indüksiyonla ön ısıtma işlemi yapılmış, 1100 – 1200 °C sıcaklık aralığında 40 kJ Beche marka hidrolik çekiç preste dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hemen arkasından da 250 tonluk eksantrik pres makas ile sıcak dövme taslak parça çıkarılmıştır. Sıcak dövme sonrasında havada soğutulmuş oda sıcaklığına getirilen numuneler, 840 – 870 °C sıcaklık aralığında tav fırınında C45 çeliğinde olduğu gibi inç başına 1 saat bekletilmiş ve yağ ortamında su verilmiştir. Su verilmiş parçalar 605 - 640 °C sıcaklık aralığında temperlemeye tabi tutularak, sonrasında da havada soğutulmuştur.

3 Adet 42CrMo4 Numunesi Alternatif Yöntem Isıl İşlem Uygulaması: Dolu Ø60 çapta çubuk malzeme, çelik firmalarından tedarik edilmiş, pitman kolu dövme taslak boylarında kesilmiş ve sıcak dövme işlemi için hazırlanmıştır. Taslak malzemeye dövme öncesi indüksiyonla ön ısıtma işlemi yapılmış, 1100 – 1200 °C sıcaklık aralığında 40 kJ Beche marka hidrolik çekiç preste dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hemen arkasından da 250 tonluk eksantrik pres makas ile sıcak dövme taslak parça çıkarılmıştır. Sıcak dövme sonrasında havada kontrollü soğutulan 42CrMo4 malzeme pitman kolu gövde numunesinin sıcaklığı 850 – 880 °C aralığına düştüğünde, önceden hazırlanmış %5 konsantreli su – polimer sıvısı içine bırakılarak hızlı soğutma yapılmıştır. Sonrasında numunelere geleneksel yöntemde kullanılan 605 - 640 °C sıcaklık aralığında temperleme işlemi yapılarak, havada soğutulmuştur.

Deneylerde kullanılan, geleneksel ve alternatif ısıl işlem metodları uygulanan C45 ve 42CrMo4 çelik numunelerinin optik mikroskop ile mikroyapıları incelenmiş, Vickers sertlik cihazında mikrosertlik değerleri belirlenmiştir. Sertlik değerleri tüm kesitte kenar ve merkez bölgelerini içerecek şekilde 6 farklı ölçümün ortalaması olarak verilmiştir. Her iki malzemenin geleneksel ve alternatif ısıl işlem yöntemlerinden, 4 ayrı grup için çekme test çubukları hazırlanmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi ile sertleştirilip temperlenmiş çelik parçaların akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca her iki malzemenin geleneksel ve alternatif ısıl işlem yöntemi uygulanan numunelerine Charpy darbe testi yapılmış ve deney sonuçlarına eklenmiştir.

Her iki malzemenin geleneksel ve alternatif sertleştirme sonrası mikroyapı incelemeleri su verme sonrası martenzit yapının elde edildiğini göstermiştir. Ancak C45 çeliğinin mikroyapısında her iki sertleştirme ısıl işlemi sonrası martenzit yanında belirgin ferrit adacıkları da mevcuttur. 42CrMo4 çeliği alaşım elemanı içeriği bakımından daha zengin olduğu için daha homojen dağılımlı martenzit yapısı elde edilmiştir. Her iki çelikte de dövme ısısını kullanarak enerji ve zaman tasarrufu sağlamak adına uygulanan alternatif sertleştirme ısıl işlemi sonrası elde edilen tane yapısı, firmada uygulanan geleneksel sertleştirme ısıl işlemi sonrası elde edilen tane yapısına göre oldukça kabadır.

Alınan Vickers sertlik ölçüm sonuçlarına göre, geleneksel ve alternatif ısıl işlemi sonucunda her iki çelik tipinde de (C45 ve 42CrMo4) benzer sertlik değerleri ölçülmüştür. C45 çeliği geleneksel ısıl işlem metodu sonrası sertlik değerleri ortalaması 280 HV gelirken, alternatif ısıl işlemi sonrasında benzer şekilde 280 HV sertlik değeri elde edilmiştir. 42CrMo4 çeliği geleneksel ısıl işlem metodu sonrası

sertlik değerleri ortalaması 305 HV gelirken, alternatif ısıl işlem sonrasında 310 HV sertlik değerleri elde edilmiştir. Ölçülen sertlik değerleri her iki sertleştirme yöntemi sonrası martenzit yapının oluşturulabildiğini göstermektedir. Alternatif yöntem ile sertleştirme sonrası sertlik değerleri geleneksel sertleştirmeye oranla bir miktar yüksektir. Tane yapısının daha kaba olmasına rağmen sertlik değerinin daha yüksek olmasının muhtemel nedeni su verme ortamının farklı olmasıdır.

Alternatif ısıl işlem uygulanan C45 ve 42CrMo4 çelik parçaların akma ve çekme mukavemeti değeri geleneksel sertleştirme ve temperleme uygulanan parçalardan daha yüksek sünekliği ise daha düşüktür. Charpy darbe testi sonuçları, çekme testini doğrular nitelikte alternatif yöntemle ısıl işleme tabi tutulan parçalarda daha düşüktür.

INVESTIGATION OF ALTERNATIVE HEAT TREATMENT APPLICATIONS ON PARTS MANUFACTURED BY FORGING METHOD

SUMMARY

In the production of automotive steering and suspension system parts, different heat treatment methods are applied in order to relieve the internal stresses in the material structure after hot forging, to increase its resistance to heat and corrosion, to increase its machinability, to bring it to a desired hardness value and to gain some mechanical properties.

In this study, it is aimed to examine the effect of hardening heat treatment on microstructure and mechanical properties of C45 (SAE 1045) and 42CrMo4 (SAE 4140) quality steel parts used in steering and suspension system parts, which are shaped by hot forging, by applying an alternative hardening heat treatment (when the temperature of the parts left to cool after forging drops to the austenitizing temperature, they are immersed in the quenching medium and then tempered at the temperature and time determined in the conventional method) to the currently applied conventional method (parts cooled to room temperature after forging and applied a hardening heat treatment and then tempered).

A total of 12 sample pieces has been prepared as; 3 from the C45 steel sample to which the conventional heat treatment method was applied, 3 from the C45 steel sample to which the alternative heat treatment method would be applied, 3 from the 42CrMo4 steel sample to which the conventional heat treatment method would be applied, and 3 from the 42CrMo4 steel sample to which the alternative heat treatment method would be applied.

3 Pieces of C45 Samples Conventional Method Heat Treatment Application: Ø32 steel bar material was supplied from steel companies, cut into ball joint forging draft lengths and prepared for hot forging. The draft material was preheated by induction before forging, and forging was carried out in an air hammer press at a temperature range of 1100 – 1250 °C. Immediately afterwards, a hot forged draft piece was removed with a 150-ton eccentric press shear. After hot forging, the samples, which were cooled in air and brought to room temperature, were annealed in the annealing furnace between 840 – 870 °C, brought to the austenite phase temperature and cooled in oil. With the annealing process, the hardness of the steel is reduced, its ductility is increased and its internal stresses are eliminated. The annealed and oil-cooled samples were tempered in the temperature range of 525 – 555 °C and then cooled in air.

3 Pieces of C45 Samples Alternative Method Heat Treatment Application: Ø32 steel bar material was supplied from steel companies, cut into ball joint forging draft lengths and prepared for hot forging. The draft material was preheated by induction before forging, and forging was carried out in an air hammer press at a temperature range of 1100 – 1250 °C. Immediately afterwards, a hot forged draft piece was removed with a 150-ton eccentric press shear. After hot forging, when the temperature of the C45 ball joint body sample, which was controlled in air, fell to the range of 850 - 880 °C, rapid

cooling was done by dropping it into a pre-prepared 5% concentrated water - polymer liquid. Afterwards, the samples were tempered in the temperature range of 525 – 555 °C and cooled in air.

3 Piece 42CrMo4 Samples Conventional Method Heat Treatment Application: 42CrMo4 (SAE 4140) quality Ø60 diameter steel bar was supplied from steel companies as material, the pitman arm was cut into forging draft lengths and prepared for hot forging. The draft material was preheated by induction before forging, and forging was carried out in a 40 kJ Beche brand hydraulic hammer press at a temperature range of 1100 – 1200 °C. Immediately afterwards, the hot forged draft piece was removed with 250 tons of eccentric press shears. After hot forging, the samples, which were cooled in air and brought to room temperature, were annealed in the annealing furnace between 840 – 870 °C, brought to the austenite phase temperature and cooled in oil. The annealed and oil-cooled samples were tempered in the temperature range of 605 - 640 °C to reduce the internal stresses in the structure of the steel, and then cooled in air.

3 Pieces of 42CrMo4 Samples Alternative Method Heat Treatment Application: 42CrMo4 (SAE 4140) quality steel was supplied from steel companies as solid bar material in Ø60 diameter, pitman arm was cut in forging draft lengths and prepared for hot forging process. The draft material was preheated by induction before forging, and forging was carried out in a 40 kJ Beche brand hydraulic hammer press at a temperature range of 1100 – 1200 °C. Immediately afterwards, the hot forged draft piece was removed with 250 tons of eccentric press shears. After hot forging, when the temperature of the 42CrMo4 material pitman arm body sample, which is controlled in air, drops to the range of 850 - 880 °C, rapid cooling was done by dropping it into a pre-prepared 5% concentrated water - polymer liquid. Afterwards, the samples were tempered in the temperature range of 605 - 640 °C and cooled in air.

The microstructure images of the C45 and 42CrMo4 steel samples used in the experiments, to which conventional and alternative heat treatment methods were applied, were examined with optical and scanning electron microscopy. Vickers hardness measurements of both material samples were made at the end of two different heat treatment methods. 6 different hardness measurements were taken from the edge and middle regions of each sample and the average of these 6 measurement results was recorded in the test results. 4 different groups of tensile test samples from the traditional and alternative heat treatment methods of both materials were prepared and tensile test was performed. In the tensile test results, the yield strength, tensile strength and elongation values were added to the test results for different heat treatment methods of both materials. In addition, the Charpy impact test was applied to the samples of both materials applied to the traditional and alternative heat treatment methods and added to the test results.

The microstructures of the C45 and 42CrMo4 steel samples used in the experiments, to which conventional and alternative heat treatment methods were applied, were examined with an optical microscope, and the microhardness values were determined in the Vickers hardness device. The hardness values are given as the average of 6 different measurements, including the edge and center regions of the whole section. Tensile test samples were prepared and performed to tensile test for 4 different groups from the traditional and alternative heat treatment methods of both materials. The yield strength, tensile strength and % elongation values of the hardened and tempered steel parts were determined by the tensile test. In addition, the Charpy impact test was

applied to the samples of both materials applied to the traditional and alternative heat treatment methods and added to the test results.

According to the Vickers hardness measurement results obtained, it was observed that similar hardness values were obtained in both steel types (C45 and 42CrMo4) as a result of conventional and alternative heat treatment. While the average hardness values of C45 steel after the conventional heat treatment method were 280 HV, a similar hardness value of 280 HV was obtained after the alternative heat treatment. While the average hardness values of 42CrMo4 steel after conventional heat treatment method were 305 HV, 310 HV hardness values were obtained after alternative heat treatment. The measured hardness values show that the martensite structure can be formed after both hardening methods. Hardness values after hardening with the alternative method are slightly higher than conventional hardening. Although it has a coarser grain structure, the possible reason for the higher hardness value is the different quenching medium.

Alternative heat treatment samples have higher tensile strength than conventional heat treatment samples in both steel types (C45 and 42CrMo4). The percent elongation amounts in the tensile test results of both steel types samples; It was observed that the samples applied alternative heat treatment were lower than the samples applied traditional heat treatment method. These results are also compatible with hardness values.

The Charpy impact test results on samples of both steel types applied to the conventional and alternative heat treatment method are lower in the parts heat treated with the alternative method, confirming the tensile test. It has been observed that the steels subjected to heat treatment with the alternative method have a coarser grained microstructure, so the impact energy values are lower.

1. GİRİŞ

Çelik, demir cevherinden elde edilen prosesler neticesinde üretilen demir karbon alaşımlı bir malzemedir. Çeliğin üretimi ve kullanımında fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri yüksek önem taşımaktadır. Demir madeninin doğada bir çok coğrafyada bulunması, cevherin çıkarılması, maliyetlerinin daha ucuz olması, işlenebilme kabiliyeti, kaynaklanabilmesi ve farklı ısıl işlem koşulları ile istenen mekanik özelliklerin kazandırılabilmesi nedeniyle çelikler sıklıkla kullanılan malzemeler olmuştur.

Katı haldeki bir malzemeyi, kimyasal ve mekanik özelliklerine bağlı olarak belirlenen kritik bir sıcaklığa ısıtıp, sonrasında bir süre bekleterek tekrar soğutma işlemlerinin tamamına ısıl işlem denmektedir. Bu işlemlerin belirli fazlarında malzeme yapısında dönüşümler meydana gelmektedir. Çeliklere ısıl işlem uygulanmasının temel nedenleri, malzeme yapısındaki iç gerilmeleri gidermek, ısıya ve korozyona karşı direncini yükseltmek, işlenebilirliğini arttırmak, istenen bir sertlik değerine getirmek ve bunun gibi bazı mekanik özellikler kazandırmaktır [1]. Çeliklere mekanik özellikler kazandıran en bilinen ve en çok uygulanan ısıl işlem methodlarından biri de doğrudan su verme ısıl işlemidir.

Sertleştirme amacıyla yapılan ısıl işlem methodlarında, çeliğin yapısında martenzit yapı oluşur ve bu da malzemede iç gerilmeler oluşmasına neden olmaktadır. Çeliklerin sertleştirilmesi esnasında oluşan martenzit yapı, çeliğin kimyasal özelliklerine ve alaşım elementlerinin oranına doğrudan bağlıdır [2]. Çeliğin kimyasal bileşimindeki karbon miktarı en önemli etkidir. Uygulanan ısıl işlemle sertleştirme yöntemleri sonrasında, malzeme yapısında martenzit yapıya bağlı oluşan bu gerilmeleri gidermek amacıyla temperleme (menevişleme) ısıl işlemi yapılır. Sertleştirme sonrasında gerilim giderme yapılmayan malzemelerde büzülme, çarpılma ve çatlaklar oluşabilir. Temperleme ısıl işlemi ile malzeme yapısındaki gerilim giderilirken, imalatta ve kullanımda ihtiyaç duyulan süneklik ve tokluk özellikleri de kazandırılmış olunur. Temperleme sonrasında çelik malzeme, daha yüksek bir mukavemete sahip olur ve kırılabilirliği azalır.

Otomotiv sektöründe üretilen birçok parça alaşımli çeliklerden üretilmektedir [3]. Kimyasal bileşimleri özellikle de karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olmaları, sertleştirilebilme özelliklerinin yanında süneklik elde edebilmeleri, yüksek direnç göstermeleri, ıslah işlemi sonrasında yüksek tokluk özelliği göstermeleri, işlenebilirliği, kaynaklanabilirliği, uygun maliyetleri gibi nedenlerden dolayı özellikle alaşımli ıslah çelikleri otomotiv sektörü parça üretiminde en çok tercih edilen çeliklerdendir [4]. Otomotiv sektörü direksiyon ve süspansiyon sistemi parçaları, araçlardaki emniyet parçalarındandır. Bu parçalarda meydana gelebilecek malzeme nedenli kusurlar kazalara neden olabilir. Bu nedenle sürücü ve yolcu güvenliği açısından direksiyon ve süspansiyon sistemi parçaları üretilirken, doğru çelik malzeme seçilmeli, doğru üretim ve ısıl işlem prosesleri seçilmelidir.

Amaç: Yapılan bu çalışmada, direksiyon ve süspansiyon sistemi parçalarında kullanılan sıcak dövme ile şekillendiren C45 (SAE 1045) ve 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çelik parçalarda, halihazırda uygulanan ostenitleme sıcaklığında su verme ve temperleme ve temperleme ısıl işlemine alternatif ısıl işlem koşulu olarak doğrudan su verme-temperleme (dövme sıcaklığı kullanılarak) işleminin uygulanabilirliği araştırılması, su verme ısıl işleminin parçanın mekanik özelliklerine ve mikro yapıya olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yüksek enerji maliyetlerinden dolayı, tavlama-menevişleme ısıl işlem methoduna alternatif olabilecek doğrudan su verme-temperleme ısıl işlem methodunun otomotiv direksiyon ve süspansiyon sistemi parçalarının üretimde kullanılan C45 ve 42CrMo4 çelik malzemeler için malzeme yapısı ve mekanik özellikler bakımından uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

Kapsam: Çalışmada, Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş. bünyesinde üretimi yapılan direksiyon ve süspansiyon sistemi parçalarında, üretim standartlarına ve müşteri şartnamelerine bağlı olarak C45 (SAE 1045) ve 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çeliklere uygulanan ostenitleme sıcaklığında su verme ve temperleme ısıl işlemleri incelenmiştir. Aynı çelik kalitesindeki parçalara doğrudan su verme ve temperleme ısıl işlemleri uygulanarak mekanik ve mikro yapı sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yöntem: Firma bünyesinde uygulanan ostenitleme sıcaklığında su verme (tavlama-yağda su verme ve temperleme) ısıl işlemine alternatif ısıl işlem koşulu olarak, C45 (SAE 1045) ve 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çeliklere doğrudan su verme ve sonrasında temperleme ısıl işlemleri uygulanmıştır. Yapılan doğrudan su verme ısıl işlemi

sonrasında malzemenin mekanik ve mikro yapı sonuçları incelenmiş, östenitleme sıcaklığında su verme ısıl işlemi sonuçları ile karşılaştırılmış ve C45 (SAE 1045) ve 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çeliklerden üretilen direksiyon ve süspaniyon sistemi parçalarına üretim ısıl işlem yöntemi olarak uygulanabilirliği araştırılmıştır.

2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelikler, özelliklerine ve kullanım alanlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Genel olarak bu sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir [5]:

2.1. Kompozisyonlarına Göre Sınıflandırma

- Karbonlu Çelikler
 - a) Düşük Karbonlu Çelikler ($C < \%0.25$)
 - b) Orta Karbonlu Çelikler ($\%0.25 < C < \%0.55$)
 - c) Yüksek Karbonlu Çelikler ($\%0.55 < C$)
- Alaşımli Çelikler
 - a) Düşük Alaşımli Çelikler (Alaşım elementi oranları toplamı $< \%5$)
 - b) Yüksek Alaşımli Çelikler (Alaşım elementi oranları toplamı $> \%5$)
- Alaşım Elementlerine Göre Çelikler
 - a) Manganlı Çelikler
 - b) Krom Nikelli Çelikler
 - c) Paslanmaz Çelikler
- Üretim Methodlarına Göre Sınıflandırma
 - a) Sıcak Haddelenmiş Çelikler
 - b) Soğuk Haddelenmiş Çelikler
- Üretim Esnasında Kullanılan Yönteme Göre Çelikler
 - a. Siemens-Martin Çeliği
 - b. Oksijen Konverter Çeliği
 - c. Pota Çeliği
- Oksijen Giderme Yöntemine Göre Çelikler

- a) Kaynar Çelik
- b) Durgun Çelik
- c) Yarı Durgun Çelik
- Kesit Şekillerine Göre Sınıflandırma
 - a) Yuvarlak Çubuk
 - b) Altı Köşe Çubuk
 - c) Plaka
 - d) Sac
 - e) Profil
- Kalite Niteliklerine Göre Sınıflandırma
 - a) Sıcak Haddelenmiş Karbonlu Çelik Çubuklar
 - b) Karbon Çeliği Levhalar
 - c) Sıcak Hadde Saclar/Soğuk Hadde Saclar
 - d) Alaşımli Çelik Plakalar
 - e) Sıcak Haddelenmiş Çelik Çubuklar
- Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırma
 - a) Kalitesiz Yumuşak Çelikler
 - b) Kolay Kaynak Çelikleri
 - c) Yapı Çelikleri
 - d) İmalat Çelikleri
 - e) Islah Çelikleri
 - f) Transmisyon Çelikleri
 - g) Paslanmaz Çelikler
 - h) Takım Çelikleri

3. ISLAH ÇELİKLERİ

Genel olarak ıslah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle de karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli, sertleştirilebilme özelliklerinin yanında süneklik elde edilebilen, yüksek direnç gösterebilen, ıslah işlemi sonrasında da yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı veya alaşımsız çeliklerdir. Islah çelikleri, genel anlamda diğer çelik türlerine göre sertlik elde edilebilmesi için daha fazla karbon oranına sahiptir. Yüksek dayanım ve süneklik, sertleştirilebilme özelliğinden sonra gelen en önemli özelliklerindedir. Islah çeliklerinin bir diğer avantajı ise indüksiyon ile sertleştirilebildiği gibi ıslah sonrasında da indüksiyonla sertleştirilebiliyor olmasıdır.

Sertlik derinliği önemli bir kriterdir. Bu nedenle kalın kesitli parçalarda alaşımlı ıslah çelikleri tercih edilir. İnce kesitli parçalarda, bu faktör önem arz etmeyeceğinden alaşımsız ıslah çelikleri de tercih edilebilir. Alaşımlı çeliklerde sertlik derinliği, alaşımsız çeliklere göre 3-4 kat yüksek oranlara ulaşabilir. Alaşımlı ıslah çeliklerinde indüksiyonla sertleştirme prosesi, malzemedeki çatlak oluşumuna neden olabilir. Çatlamaya neden olan alaşım elementi ise mangandır. Bu nedenle, yüksek karbon ve düşük mangan alaşımlı çeliklerin kullanımı tercih edilir. Malzeme tane yapısının küçüklüğü ile çatlama tehlikesinin azalması birbirine ilişkili faktörlerdir. Islah çelikleri, içeriğindeki karbon (C) oranının yüksek olması sebebiyle, sertleştirilebilme özelliğine bağlı olarak yüksek dayanıklılık sağlayan çelik türleridir [6]. Ayrıca süneklik özelliği gösterirler. Islah çeliklerinin ısı işlem görmesi sonrasında tokluk sergileme oranı yükselmektedir.

Karbon seviyesinin yüksek olması nedeniyle, ıslah çeliklerinin kaynak yapabilme oranı düşüktür [7]. Kaynak yapılması durumunda ise martenzit yapı oluşmaktadır. Islah çeliklerinde ergitme kaynağı uygulanabilmesi için ısı etkime bölgesinde sertleşmeye eğilimli olmaması gerekmektedir. Bu nedenle, kaynaklama yapabilmek için çeliğe ön ısıtma uygulanır. Kaynak sonrası da tavlama işlemine alınır. Islah çeliklerine talaşlı şekillendirme işlemi uygulanacak ise karbon (C) oranı %0,45'ten daha düşük alaşımsız çelikler veya normal tavllanmış mangan (Mn) içerikli alaşımlı ıslah çelikleri tercih edilir. Talaşlı şekillendirme uygulanacak diğer ıslah çeliklerinde

ise önceden yumuşak tavlama yapılması gerekmektedir. Şayet malzemede çok iyi bir yüzey kalitesi isteniyorsa, ıslah işleminden sonra talaşlı şekillendirme yapılır.

Islah işlemi, çeliklerde sertleştirme ve menevişleme işlemlerinin tamamına verilen isimdir. Islah çeliklerinde menevişleme prosesi 200–600 °C sıcaklık değerleri aralığında uygulanmaktadır. Islah işlemi esnasında çeliğin yapısındaki taneler irileşebilir. Islah işlemi sonrasında çelikler, yüksek tokluk özelliği ve üstün mekanik özellikler kazanırlar.

Islah çeliklerinin çekme dayanımı, akma sınırı, kopma uzaması ve kesit daralması gibi özellikleri yukarıda belirtilen türlerine göre farklılık göstermektedir. Islah çeliklerinden dayanıklı parçalar üretilebilmesi, malzemenin tam verim alınabilmesi için kullanım alanına ve ihtiyaca göre doğru ıslah çeliği seçilmesi önemlidir. Bu nedenle, ıslah çeliği seçilirken özellikle çekme dayanımı, akma sınırı, kesit daralması gibi özelliklerine dikkat edilmelidir. Ayrıca ıslah çeliği seçiminde parça boyutu önemli bir faktördür. Küçük kesitli parçalarda alaşımsız ıslah çelikleri daha verimli olurken, sertlik dağılımının homojen olması nedeniyle kalın kesitli parçalarda ise alaşımlı çelikler daha verimli olmaktadır. Malzeme seçimi ne kadar önemli ise uygulanacak ısıtma işlem süreçleri de bir o kadar önem arz etmektedir. Doğru malzeme seçimi sonrası, çeliğin yüksek verimde kullanılabilirliği için ısıtma işlemi en önemli faktörlerden biridir.

Islah çeliklerinin en önemli kullanım alanları makine, otomotiv ve uçak sektörleridir. Genel olarak makine sektöründe tahrik parçalarında, millerin, pimlerin, somun ve dişlilerin üretiminde, otomotiv sektöründe taşıt motor parçaları, krank milleri, akslar, piston kolları, süspansiyon parçaları üretiminde, uçak sektöründe ise türbin parçaları yapımında kullanılırlar [3]. Bu nedenle ıslah çelikleri, alaşımsız çelikler ve inşaat çeliklerinden sonra en çok kullanılan çelik türleridir. Islah çeliklerinin kullanım alanları Tablo.3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Islah Çeliklerinin Kullanım Alanları [8]

DIN	SAE/AISI	KULLANIM ALANLARI
C22	1020	Taşıt, makine, motor ve aparat yapımında pek az zorlanan parçalar
C35	1035	Makine, aparat ve taşıt yapımında biraz yüksek zorlamalar için parçalar
C45	1045	Taşıt, motor, makine ve aparat yapımı (yüksek zorlanmalı parçalar)
C55	1055	Makine, taşıt ve motor yapımında, aktarma organı mil, dişlisi gibi yüksek zorlanmalı parçalar
C60	1060	Makine ve taşıt imalatında, mil, aks, pim ve benzeri, çok fazla zorlanan parçalar
Ck 22	1020/1023	Taşıt, makine, motor ve aparat yapımında, az zorlanan yüksek arıklıktaki çelikten yapılacak parçalar
Cm 35	1035	Makine, taşıt, motor ve aparat yapımında talaşlı şekillendirilecek fazla zorlanan parçalar
Ck 35	1035	Makine taşıt ve motor yapımında fazla zorlanan ve yüksek arıklık gerektiren çelikten yapılacak parçalar
Ck 40	1040	Taşıt, makine, motor ve aparat yapımında, orta zorlanan ve yüksek arıklıkta çelikten yapılacak parçalar
Ck 45	1045	Taşıt, makine, motor ve aparat yapımında, orta zorlanan ve yüksek arıklıkta çelikten yapılacak parçalar
Cm 45	1045	Makine, taşıt, motor ve aparat yapımında, orta zorlanan ve talaşlı işlenecek parçalar
Ck 55	1055	Makine, taşıt, motor ve aparat yapımında, fazla zorlanan talaşlı işlenecek parçalar
Ck 50	1050	Makine, taşıt, motor ve aparat yapımında, fazla zorlanan talaşlı işlenecek parçalar
Cm 55	1055	Makine taşıt ve motor yapımında fazla zorlanan talaşlı işlenecek parçalar
Ck 60	1060	Makine taşıt ve motor yapımında fazla zorlanan ve yüksek arıklık gerektiren çelikten yapılacak parçalar
Cm 60	-	Makine taşıt ve motor yapımında fazla zorlanan talaşlı işlenecek parçalar
40Mn4	1039	Genel makine ve taşıt yapımında Mn alaşımlı ıslah çeliğinden parçalar
28Mn6	1330	Genel makine ve taşıt yapımında Mn alaşımlı ıslah çeliğinden parçalar
36CrNiMo4	9840	Taşıt ve motor yapımında, aks, aks kovana, krank mili, dingil gibi çok fazla zorlanan parçalar
30CrNiMo8	-	Otomobil ve motor yapımında, dayanım, süneklilik ve elastikliğin ön palanda olduğu çok zorlanan parçalar
34CrNiMo6	4340	Otomobil ve motor yapımında, krank mili ve diğer tahrik aksamı, ön aks, aks kovana gibi çok zorlanan parçalar
38Cr2	-	Genel olarak taşıt ve motor yapımında parçalar
46Cr2	5045	Genel olarak taşıt ve motor yapımında parçalar
34Cr4	5132	Taşıt ve makine yapımında, krank mili ve diğer tahrik aksamı, ön aks, aks kovana gibi parçalar
37Cr4	5135	Siyanür banyosunda sertleştirilecek, şanzıman parçaları, piston kolu, krank mili ve dişli çarklar
41Cr4	5140	Taşıt ve motor yapımında, krank mili, ön aks, aks kovana, direksiyon mili ve benzeri parçalar

Tablo 3.1.(Devamı) İslah Çeliklerinin Kullanım Alanları [8]

DIN	SAE/AISI	KULLANIM ALANLARI
34CrS4	-	Şanzıman parçaları, mil, piston kolu gibi talaşlı şekillendirilecek ıslah çeliği parçalar
37CrS4	-	Şanzıman parçaları, mil, piston kolu gibi talaşlı şekillendirilecek ıslah çeliği parçalar
41CrS4	-	Şanzıman parçaları, mil, piston kolu gibi talaşlı şekillendirilecek ıslah çeliği parçalar
25CrMo4	4130	Otomobil ve taşıt yapımında, aks mili, aks kovani, türbin parçaları ve türbin kanadı gibi parçalar
34CrMo4	4135, 4137	Otomobil ve uçak yapımında krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve sünekliği yüksek parçalar
42CrMo4	4140	Otomobil ve uçak yapımında krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve sünekliği yüksek parçalar
34CrMoS4	-	Otomobil ve uçak yapımında krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve sünekliği yüksek parçalar
42CrMoS4	-	Otomobil ve uçak yapımında krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve sünekliği yüksek parçalar
50CrMo4	4150	Otomobil ve uçak yapımında yüksek süneklikte parçalar, şanzıman, direksiyon parç. Aktarma organı parçaları
32CrMo124	-	Dayanım, süneklik ve elastiklikte fazla beklentilerin olduğu parçalar
30CrMoV9	-	Otomobil ve taşıtlarda yüksek süneklikte, fazla zorlanan krank mili, saplama, cıvata vb. parçalar
50CrV4	6150	Otomobil ve çeşitli mekanizmaların yapımında, dişli çark, mil, yönlendirme parçası gibi aşınmaya zorlanan parçalar

İslah çelikleri genel olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır. (Kimyasal bileşimlerine göre)

- Alaşımız ıslah çelikleri
- Mangan alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri

3.1. Alaşım Elementlerinin İslah Çeliklerine Etkileri

Malzeme özellikleri farklı şekillerde etkileyen faktörler arasında, çeliğin yapısındaki alaşım elementlerinin faz, intermetalik bağ ve katı çözelti durumları bulunmaktadır. Elementlerin, çeliğin yapısında demirle yaptıkları katı çözelti, kristal yapılarına ve atom çap oranlarına bağlıdır. Ferrit yapıcı elementlere; krom, molibden, alüminyum, arsenik, zirkonyum, silisyum, titanyum, vanadyum örnek gösterilebilir. Ostenit yapıcı elementlere ise; nikel, çinko, mangan, karbon, kobalt, bakır, azot, altın örnek olarak verilebilir [9].

Yapının içerisinde alaşım elementinin katılımıyla, dönüşüm eğrilerinde sıcaklık ile bileşim eğrileri değişmektedir. Alaşım elementleri, TTT diagramı üzerinde eğrileri değiştiren önemli bir faktördür.

Alaşım elementleri, perlit ile beyrit dönüşümlerini geciktirmektedir. Daha düşük soğuma hızlarında, martensit yapı oluştururken, çeliğin üst kritik soğuma hızı düşmektedir [10]. Bu nedenle, düşük soğuma ortamlarında martensit yapı ve daha yüksek derinlikte sertlik sağlanmaktadır. Buna ek olarak, kesit ölçüsü kalın parçalarda tüm parça kesiti sertleşmektedir. Soğuma hızının düşük olmasına bağlı olarak, iç gerilmeler, çarpılma, büzülme ve çatlak oluşum riski düşmektedir. Alaşım elementlerinin çelik yapılarına etkileri Tablo.3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapılarına Etkileri [9]

	Si	Mn	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	S	P
Sertlik	artar	azalır	artar	azalır	-	artar	artar	artar	artar	-	artar
Mukavemet	artar	artar	artar	artar	-	artar	artar	artar	artar	-	artar
Akma Noktası	artar	azalır	artar	azalır	-	artar	artar	artar	artar	-	artar
Uzama	azalır	azalır	azalır	artar	-	azalır	sabit	azalır	azalır	azalır	azalır
Kesit Daralması	sabit	sabit	azalır	artar	-	azalır	sabit	azalır	azalır	azalır	azalır
Darbe Direnci	azalır	-	azalır	artar	azalır	-	artar	azalır	artar	azalır	azalır
Elastisite	artar	-	artar	-	azalır	-	artar	-	-	-	-
Sıcaklık Dayanımı	artar	-	artar	artar	-	artar	artar	artar	artar	-	-
Soğutma Hızı	azalır	azalır	azalır	azalır	-	azalır	azalır	artar	azalır	-	-
Karbür Oluşumu	azalır	-	artar	-	-	artar	artar	-	artar	-	-
Aşınma Direnci	azalır	-	artar	-	-	artar	artar	artar	artar	-	-
Dövülebilirlik	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	artar	azalır	azalır	azalır	azalır
İşlenebilirlik	azalır	azalır	-	azalır	-	azalır	-	sabit	azalır	artar	azalır
Oksitlenme Eğilimi	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	artar	-	azalır
Korozyon Direnci	-	-	azalır	artar	-	-	artar	-	-	azalır	artar

3.1.1. Karbon (C) ve etkisi

Karbon (C), çeliklerde sertliğe etkisi olan en temel elementtir. Çeliklerin sertliğini arttırdığı gibi, çekme dayanımı da arttırmaktadır. Karbonun çeliklerdeki negatif etkisi ise dövülebilirliğini ve kaynaklanabilme özelliklerini olumsuz anlamda etkilemesidir. Çeliklerin mekanik özelliklerin belirleyen faktörlerin en başında karbon gelmektedir. Karbon çeliklere kattığı pozitif özellikler, akma mukavemetini arttırması, çekme mukavemetini arttırmasıdır. Kaynak kabiliyetini azaltması, şekillendirilebilirlik özelliğini düşürmesi ve çeliklerde yüzde uzamayı azaltması ise çeliklere kattığı en bilinen negatif özelliklerdir. Alaşımız çeliklerde, 16 mm çap ve altında minimum akma sınırı 370 N/mm² (%C: 0,25) ile 570 N/mm² (%C: 0,50) arasında olmaktadır.

Çeliklerde fazların oluşabilmesi için karbon elementinin mutlaka belirli bir oranda bulunması gerekmektedir. Örnek olarak çeliklere sertlik özelliği kazandıran ve aşınma direnci veren sementit fazının oluşabilmesi için çeliğin içerisinde mutlaka karbon elementi bulunmalıdır. Çeliklerde belli bir sınıra kadar karbon miktarı arttıkça su verme derinliği, yani sertleştirilebilirliği ve çeliğin aşınma direnci artmaktadır. Bu sınır, yaklaşık olarak %1,5 karbon (C) oranı kadardır. Çeliklerdeki karbon oranı bu sınıra yaklaştığında çeliklerin tokluk özelliği düşer ve kırılgan bir yapıya sahip olurlar. Bu durum çeliğin sünek bir yapıya sahip olmasına ve kaynaklanabilme özelliğinin düşmesine de yol açar. Ayrıca yüksek karbon oranı, paslanmalara karşı korozyon direncini de düşürmektedir [11].

3.1.2. Mangan (Mn) ve etkisi

Mangan (Mn), fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından Demir (Fe) elementine benzemektedir ancak daha sert ve kırılgandır. Mangan, sülfatın elektrolizi yoluyla ya da oksidin alüminyum, magnezyum veya sodyum ile indirgenmesi yoluyla elde edilir. Bu işlem sonrasında elde edilen mangan elementinin %95'inden fazlası, çelik ve demir üretimi için ferromangan ve silikomangan alaşımları şeklinde kullanılmaktadır. Doğal manganez, kararlı bir izotop mangan-55'tir ve dört allotropik modifikasyonda meydana gelir, ayrıca havada oksitlenir ve nemli havada paslanır. Demire benzer şekilde, mangan artan sıcaklıklarda havada oksijenle yanar. Isıtıldığında hızlı bir şekilde ayrışır. Seyreltik mineral asitlerde anında çözünerek hidrojen ve ilgili tuzları oluşturur. Mangan, uygun işlemlerden sonra ferromanyetik hale gelir. Ayrıca nispeten elektropozitifdir ve seyreltik oksitleyici olmayan asitlerde anında çözünür. Artan sıcaklıkta birçok ametal ile reaksiyona girer, ancak oda sıcaklığında reaktif değildir.

Mangan (Mn), bir çok farklı uygulamalar için bir alaşım elementi olduğu gibi, çeliğin de önemli bir bileşenidir. Mangan, hemen hemen tüm çeliklerde alaşım elementi olarak bulunur. Karbondan daha az ölçüde olmak kaydıyla, çeliklere sertlik ve mukavemet katar. Mangan, çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirmedeki etkisi karbon içeriğine bağlıdır. Ayrıca sertleşme sırasında kritik soğuma hızını azaltır, yani çeliğin sertleşebilirliğini artırır. Sertleşebilirliğe etkisi diğer alaşım elementlerine göre daha fazladır. Mangan, karbon gibi benzer etkilere sahiptir ve çelik üreticileri, tercih edilen özelliklere sahip bir malzeme elde etmek için bu elementlerin her ikisini de kullanır. Mangan elementi, çeliğin kükürt ve oksijen ile birleştirilebilmesi için sıcak haddeleme işlemlerinde gereklidir. Ayrıca, mangan karbonlama işlemi sırasında karbon penetrasyon oranını artırması muhtemeldir. Çok fazla mangan ve çok fazla karbon birbirine eşlik ettiğinde çeliklerde gevrekleşme başlar. Mangan, kükürtün kırılma direncine karşı koyarak, karbon çeliğini yüzey işlemleri için faydalı hale getirir. Bir kükürt giderici olarak mangan, kararlı, yüksek eriyen sülfür parçacıkları oluşturur ve bir alaşım maddesi olarak sertliği, mukavemeti, aşınma direncini ve sertleşebilirliği artırır.

Genel olarak manganın ıslah çeliklerine temel katkıları aşağıdaki gibidir:

- Çelikte yumuşak bir yapı oluşturmak için kükürt ile bütünleşerek işlenebilirliği artırır, daha sert yapıda bir yüzey sağlar.
- Çelikteki kükürt ile bütünleşerek, yüksek sıcaklıktaki haddeleme işlemleri sırasında çeliği çatlamaya ve yırtılmaya karşı hassas hale getirebilen demir pirit oluşumunu azaltır, çeliğin verimini artırır.
- Çekme mukavemetini ve sertleşebilirliği artırır, ancak sünekliği azaltır [12].

3.1.3. Krom (Cr) ve etkisi

Krom (Cr), manganla birlikte çelik alaşımlarında en çok kullanılan katkı elemanlarından biridir. Alaşımlarda katkı elemanı olarak çeliklere bazı özellikler kazandırmaktadır. Korozyon direncini yükselmesi, sertliği artırması, sertleşmeyi daha kolay hale getirmesi, dayanımı artırması, mıknatıslama özelliğine katkı sağlaması, ısı etkisine karşı genişlemeyi düzenlemesi, kristal yapıyı daha ince hale getirmesi, elektrik direncini artırması bu özelliklerden bazılarıdır. Aynı zamanda karbonun grafitleşmesini önleme özelliği bulunmaktadır. Dövme prosesinde ve ısı işlemlerde hassasiyeti artırıcı özelliği bulunmaktadır. Ayrıca krom, paslanmaz çeliklerde

kullanılan en temel alaşım elementlerinden biridir. eliklere korozyon direnci ve oksidasyon direnci sağlamaktadır. Yüksek karbonlu çeliklerde kullanılırsa, aşınma direncini yükseltme özelliği bulunur. Krom elementi, alaşımlı ıslah çeliklerinde sertleşebilirliğe yüksek derece katkı sağlamaktadır. Takım eliklerinde ise karbür oluşturucu bir element olması nedeniyle yüksek karbon ile birlikte aşınma direncini arttırmak için kullanılır. Yüksek sıcaklık içeren alanlarda kullanılan çeliklerde ise Molibden (Mo) ile birlikte sürünme direncini arttırmaktadır.

Krom, ferrit oluşturan elementler arasındadır. Ferrit içinde katı eriyik oluşturan tüm alaşım elementleri ferritin sertliğine etki ederler. Ferritin sertliğine en fazla etki eden alaşım elementleri Silisyum (Si) ve Mangan (Mn) iken, krom (Cr) ise en az etki gösteren alaşım elementidir [13]. Bu nedenle, soğuk işleme tabi tutulan çeliklerde genellikle krom elementi kullanılmaktadır. Krom, ferrit oluşturan alaşım elementi olmasının yanı sıra aynı zamanda karbür yapıcı bir elementtir. Bu özelliği ile takım çelikleri için de önemli bir alaşım elementidir. Krom ve diğer bazı elementler, takım çeliklerinde sert karbür oluşturur ve talaş kaldırmaya, aynı zamanda aşınmaya karşı direnci arttırmaları. Karbon elementinin, aynı zamanda nitrür yapıcı olması nedeniyle, krom da bir nitrür oluşturucu elementtir. Nitrür oluşturucu bir element olarak krom, sertlikte artışa neden olmaktadır. İki veya daha fazla alaşım elementiyle birlikte krom, çeliklerde karbür oluşturur ve ferritik çelikler yapar.

Krom (Cr), mangan (Mn) veya molibden (Mo) gibi diğer bazı elementlerle karşılaştırıldığında güçlü bir sertleşebilirlik özelliği sağlamaz. Bununla birlikte, çok uygun maliyetlidir (sertleşebilirlik artışı/alaşım elementinin maliyeti). Krom, Amerikan Demir ve elik Enstitüsü (AISI) tarafından belirtilen hemen hemen tüm alaşımlı çeliklerin bir bileşenidir. Krom ayrıca sert ve kararlı karbürler oluşturmak için güçlü bir eğilime sahiptir. Bu zellik, kromlu çeliklere menevişleme sırasında yumuşamaya direnç gösterme yeteneği verir ve temperlenmiş krom içeren çelikleri sert ve aşınmaya dayanıklı hale getirir. Bununla birlikte, belirli bir sertlik seviyesi için Cr eliklerinin karbon çeliklerinden daha yüksek temperleme sıcaklıklarına veya daha uzun temperleme sürelerine ihtiyaç olduğu anlamına gelir. Bu etki, çeliğin krom içeriği arttıķa artar [9].

3.1.4. Molibden (Mo) ve etkisi

Molibden (Mo), eliklerin sertleşme kabiliyetini yükselten ve tane büyümesini önleyen önemli bir alaşım elementidir. Ayrıca çeliklere aşınma direncini ve sürünme

dayanımını arttırma özelliği kazandırmaktadır. Çeliklerde meneviş sıcaklık derecesinden yavaş soğutmalarda alaşım tane sınırlarında karbür çökelmeleri ortaya çıkabilir, bu durum da çelikte kırılğan bir yapıya sebep olur. Molibdenin bu hususta çelik üzerinde önemli bir etkisi, çeliğin meneviş gevrekliğini almasıdır. Molibden, takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementi görevi üstlenir. Paslanmaz çeliklerde ise korozyon direncinin yüksek miktarda artmasını sağlar. Ayrıca bazı mikro alaşımlı çeliklerde nitür oluşturan bir elementtir. Krom (Cr) ile kıyaslandığında, çeliklerin sertleşebilme yeteneğini daha yüksek miktarda arttırmaktadır. Bunun yanı sıra, molibden etkisi ile çeliklerle meneviş dayanımı artar, meneviş kırılğanlığı azalır. Düşük alaşımlı çelik bileşimlerinde molibden oranı genellikle %0.15-%0.30 aralığındadır. Alaşımda krom (Cr) ve nikel (Ni) ile birlikte bulunması durumunda yüksek etki sağlarlar. Molibden, karbür oluşturu element olduğundan, takım çeliklerinde yüksek oranlarda (%5-6) bulunarak çeliğin aşınma direncini artırır. Sürünme direnci bulunan çeliklere katılması durumunda, çeliğin sürünme direncini artırıcı rol oynar. Bazı çeliklerde ikincil sertleşme oluşturur ve sıcak sertliği sağlamaktadır.

Molibden, yapısında Mo_2C bileşiminde karbürler oluşturabilir. Alaşım içerisinde molibdenin yüksek miktarda bulunması, çeliklerin dövülebilme özelliğini düşürmektedir. Molibdenin, çeliklerde gevrekliği azaltması özelliğinden dolayı, temper gevrekliklerini önlemek için genellikle Cr-Ni çelikleri yerine Cr-Mo çelikleri tercih edilmektedir. İslah çeliklerinde molibden miktarı genellikle %0,15-0,30 oranındadır. %1,0 molibden içeriği ile en yüksek ıslah çelikleri 14CrMoV6-9'dur [14].

3.2. C45 Çeliği

C45 çeliği, alaşımsız çelikler grubunda bulunur. Alman standartlarına göre DIN C45 olarak belirtilirken, Amerikan çelik standartlarına göre ise AISI 1045 olarak belirtilir. Yüksek oranda karbon içermesinden dolayı karbon çeliği olarakta adlandırılmaktadır. C45/AISI 1045 çeliği, yüksek mukavemetli yüksek kaliteli orta karbonlu çeliktir. Sertleşebilirliğinin kötü olması nedeniyle genellikle normalize durumda kullanılır. Daha yüksek mekanik performans elde etmek için su verme ve tavlama işlemine ihtiyaç vardır. Yüksek mukavemet gereksinimleri olan makine parçalarının imalatında kullanılır [8]. C45 çelik standardının eşdeğer tablosu Tablo.3.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. C45 Çelik Standart Eşdeğer Tablosu [8]

Ülke	Abd	Almanya/Birleşik Krallık/Fransa	Japonya	Iso
Standart	Astm A29/A29m-05	En 10083/2-2006	Jis G4051-2009	Iso 683/18-1996
Kalite	1045	C45(1.0503)	S45c	C45e4

ABD ve Avustralya standartlarında bu çeliğin eşdeğer gösterimi 1045'tir. JIS, Japon tanımlamasında karşılık gelen malzeme S45C olarak adlandırılır. Avrupa standart tanımında ise 1.1191 çeliktir.

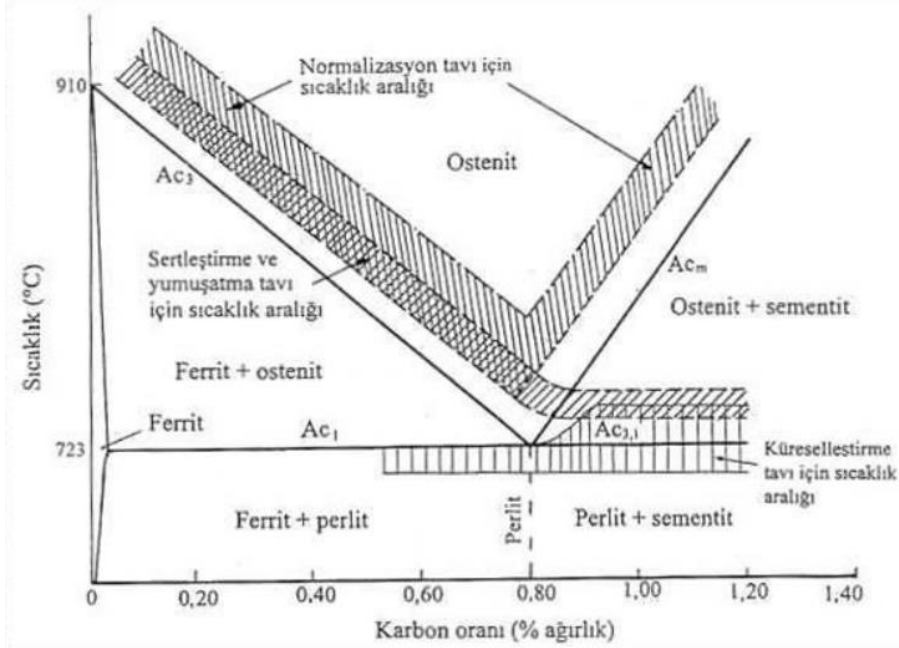
3.2.1. C45 Çeliğinin fiziksel özellikleri

C45 çelikleri, mükemmel kaynaklanabilirlik ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. Normalize edilip sıcak haddelendikten sonra yüksek mukavemet ve darbe özellikleri göstermektedirler. Sertleşebilirliği düşüktür ve kritik sertleşebilirlik çapı suda 12-17 mm'dir. Ayrıca su verme işlemi sırasında çatlama eğilimi gösterebilirler. Hidrojen kaynağı ve argon ark kaynağı C45 çelikleri için idealdir ancak gaz kaynağı uygun özellik göstermez. Kaynak öncesi ön ısıtma yapılmalı, kaynak sonrası gerilim giderme tavlı yapılmalıdır. C45 kalite çelikleri, genel olarak makine ve imalat sektörlerinde istenen aralıklarda çekme dayanımları sunan orta karbonlu bir çelik olarak tanımlanır. Su verme ve temperleme ile malzeme sertleştirme yapılabilmesi C45 çeliklerinin avantajları arasındadır [15]. C45, 55 HRC sertlik seviyesine kadar indüksiyonla sertleştirme işlemine tabi tutulabilir. Genellikle normalize işlemi sonrasında işlemeye alınır. Ancak üretim yönetimine ve talebe bağlı olarak, kimyasal bileşiminde yapılacak küçük değişimlerle çok sayıda ısıl işlem varyasyonuna da uygundur [16]. C45'in işlenebilirliği, örneğin CR1 kalitesi gibi yumuşak çeliğe eşdeğerdir. Diğer yandan kaynak kabiliyeti, yumuşak çeliğe göre daha düşük olarak sergilenmektedir [15]. Tablo3.4.'te C45 çeliğinin yoğunluk değeri verilmiştir.

Tablo 3.4. C45 Çeliği Yoğunluk Değeri [15]

Fiziksel Özellikler	Değer
Yoğunluk	7.87 g/cc

süreçlerinde, çeliğe homojen bir yapı kazandırılır, çeliğin tane boyutu küçültülür ve çeliğe gerilim giderme yapılmış olur [24]. Kısacası tavlama işlemi, çeliklerin veya alaşımların solidüs eğrisi altındaki bir sıcaklık aralığına ısıtılması, bu sıcaklık aralığında belli bir süre bekletilmesi ve sonrasında da soğutulması olarak tanımlanabilir [25]. Demir karbon denge diyagramında tavlama sıcaklık aralıkları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Demir Karbon Denge Diyagramında Tavlama Sıcaklık Aralıkları [25]

4.1.1. Normalizasyon tavlaması

Çelikler; dövme, döküm, hadde, kaynaklama, çekme gibi işlemler sonrasında iri taneli bir yapıya dönüşürler. Bu işlemler esnasında maruz kaldığı yüksek sıcaklıkta bekletme, çeliğin iri taneli bir yapıya sahip olmasına neden olur [24]. Çelikler, iri taneli yapılarda kopmalara meyilli bir eğilim gösterirler. Bu sebepten dolayı, bu işlemlerden sonra çeliğin ince taneli yapıya dönmesi istenen bir durumdur. Normalizasyon tavlaması ile çelikte homojen bir yapı sağlanır ve ince taneli çelik yapısı elde edilir [26].

Çeliği yavaşça sertleştirmek, dövme ya da döküm yönetimiyle üretilen çeliklerde segregasyonu indirgemek, üniform bir çelik yapısı elde etmek ve ince taneli bir yapı elde etmek amaçlarıyla çeliklerde normalizasyon tavlaması uygulanır [24].

4.1.2. Yumuşatma tavlaması

Malzemede istenen tane yapısını elde etmek, fiziksel özellikleri sağlamak, işlenebilirliği kolaylaştırmak için malzemeyi belirli bir sıcaklığa ısıtarak, bu sıcaklık aralığında belirli bir süre bekletip, sonra da yavaşça soğutma işlemine yumuşatma tavlaması denir. Yumuşatma tavlaması ile çeliklerde dengeli bir iç yapı oluşturulur. Başlangıçta, çeliğin yapısındaki lamelli perlit ne kadar büyük ise, gerekli tavlama süresi de o kadar uzun olacaktır. Yumuşatma tavlaması sırasında, ötektoid altı çelik malzemede karbon difüzyonu gerçekleşmektedir. Ötektoid üstü çelik malzemelerde tavlama süresinin çok uzun tutulması gerekmektedir. Tavlama sonrasında yavaşça soğutma işlemi uygulanır. Bu evrede sementit yapı, hızlıca küresel bir forma dönüşür [25]. Şekil 4.2.'deki Fe-Fe₃C ikili denge diagramında gösterilmiştir.

Yumuşak tavlama işlemi ile malzeme sertliği düşmekte ve süneklik artmaktadır. Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde yapılan yumuşatma tavlaması, malzemenin şekillendirilebilirliğini artırır. Düşük karbonlu çeliklerde ise bunun tam tersi olarak şekillendirilebilirlik düşmektedir. Çeliklerde sertleştirme işlemi için yumuşatma tavlaması yapılmaz ise, çeliğin yapısı kırılğan bir hale gelecektir. Yumuşak tavlama ile karbürler küresel form alırlar ve iyi derecede çözülüm gösterirler. Ani soğutma sonrasında ise martenzit yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterirler. Bu durum, takım çeliklerinde aşınma dayanımını arttırmaktadır [26].

4.1.3. Gerilim giderme tavlaması

Döküm, soğuk şekillendirme ve kaynak işlemleri sonrasında malzemede oluşan gerilimi gidermek amacıyla gerilim giderme işlemi uygulanmaktadır. Genel olarak malzemeyi faz dönüşüm sıcaklığının hemen altında bir sıcaklık aralığına ısıtıp, sonrasında da yavaşça soğutarak yapılan işlemdir. Bu nedenle, bu tavlamaya dönüşüm sıcaklık tavlaması da denilmektedir. Çeliklerde genel olarak 540 °C – 630°C aralığında bir sıcaklıkta gerilim giderme tavlaması uygulanır.

Gerilim giderme tavlaması, kullanım sıcaklığı üstünde ancak malzeme yapı özelliklerinin değişmeye başladığı sıcaklığın hemen altında uygulanmaktadır. Bu nedenle, gerilim giderme tavlamasında yapı değişimi olmamaktadır. Isıl işlem görmeyen malzemelerde, malzemenin yeni bir gerilim göstermemesi için fırın içerisinde yavaşça soğutma yapılır. Bu nedenle de malzeme genellikle uzunca bir süre bekletilir [26].

4.1.4. Yeniden kristalleşme tavlaması

Yeniden kristalleşme tavlaması ile deformasyona uğrayan tane yapılarının, çekirdeklenen ve büyüyen tane yapılarına dönüştürmek için yapılan bir prosestir. Soğuk işlem gören metallere, faz dönüşümü olmadan yeni tanelerin çekirdeklenip büyümesi için uygulanır [27]. Plastik deformasyona uğrayan tane yapıları, bu tavlama ile düzeltilir. Yeniden kristalleşme tavlaması, sertleştirilmiş çeliklerde yapı yeniden kristalleşme eğilimi gösterdiğinde etkili olmaktadır.

Demir içermeyen malzemelerde, kaba taneli yapıdan ince taneli bir yapı elde etmek uygulanabilen tek proses yeniden kristalleşme tavlamasıdır. Soğuk şekillendirme sonrasında ince taneli yapı elde etmek için normal tavlama işlemi de uygulanabilir. Ancak normal tavlama proses sıcaklığının yüksek olması, prosesin enerji maliyetini ve deformasyonu, fırın içerisinde aşınmaları ve tufal kayıplarını arttırır. Bu nedenle, malzemede soğuk şekillendirme varsa yeniden kristalleşme tavlaması daha çok tercih edilen bir prosestir [27].

Yeniden kristalleşme tavlaması; sertleşme etkilerini azaltır, eş eksenli ferrit taneler oluşmasını sağlar, sertliği düşürür ve sünekliği arttırır. Dövme işlemine tabi tutulmuş parçalarda, talaş kaldırma gibi sonraki işlemleri kolaylaştırmak adına yeniden kristalleşme tavlaması uygulanır. Yeniden kristalleşme tavlamasında ısıtma hızı ve bekletme süresi, çeliğin yapısına ve soğuk işlemine göre değişmektedir. Ancak yeniden kristalleşme tavlaması için sıcaklık aralığı genellikle 400 °C – 700 °C aralığındadır [25].

4.1.5. Difüzyon tavlaması

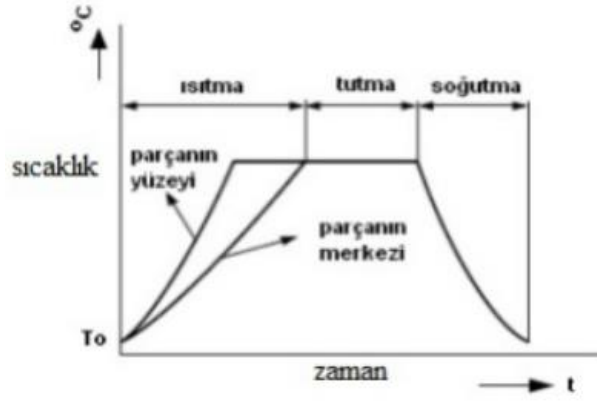
Difüzyon tavlaması, malzemede kimyasal bileşime bağlı olarak konsantrasyon farklılığını önlemek amacıyla yapılan tavlama prosesidir. Genellikle alaşımlı çelik ingotlara ve büyük boyutlu döküm parçalara uygulanmaktadır. İçeriğindeki karbon miktarına göre çok yüksek sıcaklık aralığında (1100 °C – 1300 °C) ve çok uzun süre (50 saat) tutarak gerçekleştirilir. Malzeme iç yapısında dendritler yavaşça kaybolmaktadır. Difüzyon tavlaması işlemiyle malzemede homojen bir yapı oluşur. Difüzyon tavlaması ile özellikle döküm parçalarda iyi bir süneklik özelliği sağlanmış olur. Bu tavlama yöntemi ile sadece katı çözümleri segragasyonları ortadan kaldırılır. Maliyeti yüksek bir tavlama prosesidir, yüksek derecede aşınmalara sebebiyet verir ve bu prosesle yüksek ölçüde tufal kayıpları gözlemlenir. Bu nedenlerden dolayı,

difüzyon tavlamaı genellikle proses maliyetlerini karşılayabilecek değerli malzemelerde uygulanmaktadır [28].

4.2. Sertleştirme

Alaşımsız eliklerinin, karbon miktarına göre faz dönüşüm noktalarının hemen üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılması, sonrasında yüzeylerinde veya çekirdekte yüksek sertlik elde edilen bir hızda soğutulması işlemine sertleştirme denilmektedir. Sertleştirme işleminin temel amacı, düşük soğuma hızında tam bir martenzit yapı sağlamaktadır [29]. Soğuma hızı, alaşımsız çeliğin kimyasal yapısına ve tane büyüklüğüne göre farklılık gösterebilir. Ostenit fazdaki bir sıcaklıkta homojen yapı elde edebilmek için elik malzeme yeterli bir süre bekletilmelidir. Yüksek bir hızda soğutulması durumunda, çelikte martenzit yapı sağlanmış olur. Bu dönüşüm sırasında çeliğin kristal yapısı, yüzey merkezli kübik yapıdan hacim merkezli tetragonal kristal bir yapıya dönüşür [28]. Sertleştirme prosesinde, düşük sıcaklıkta da olsa mutlaka meneviş işlemi yapılmalıdır.

Sertleştirme prosesi, havada, koruyucu bir gaz altında veya tuz banyosunda sertleştirilecek sıcaklığa ısıtılmaktadır. Sonrasında, çelikte martenzit bir yapı elde edebilmek için kritik soğuma hızının üzerinde soğutma işlemi yapılmaktadır. eliklerde sertleştirme işlemi esnasında perlit ve beynit oluşumunu önlemek için, çok kısa bir süre içerisinde martenzit oluşumunun başlangıç sıcaklığına (M_s) ulaşılması gerekmektedir. Alaşımlı eliklerde bu işlem daha uzun bir sürede gerçekleşmektedir. Soğutma ortamı seçilirken, malzeme, parça boyutu ve kesiti gibi faktörler göz önünde bulundurulur. Malzemenin ekirdek yapısının sertliği ile cidar sertliği birbirine yakın ise, bu sertleşme şekline normal sertleşme denir. Sertleştirme sonrası martenzit yapı, malzemenin sadece cidar bölgelerinde ve belli bir limite ise bu sertleştirme işlemine de yüzey sertleştirme işlemi denilmektedir [28]. Sertleştirme kademeleri şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sertleştirme Kademeleri

Çeliklerde sertleşebilirliği arttırmak için aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır.

- Alaşım elementleri oranları artırılır ya da östenit yapıda tane boyutu büyütülür. Bu işlem, çeliğin soğuma hızını yavaşlatır ve benzer sertleşme koşullarında daha sert yapı ve daha fazla sertlik derinliği sağlanmış olur.
- Çeliğin kimyasal yapısını değiştirmeden, soğuma şiddeti artırılır ve soğuma hızı artırılır. Bu durumda yine daha sert yapı ve daha fazla sertlik derinliği sağlanmış olur [28].

4.2.1. Isıtma işlemi

Sertleştirme işleminde ilk işlem, çeliği östenitleşme sıcaklığına kadar ısıtma ve bu sıcaklık aralığında istenen yapı elde edilene kadar bekleme aşamasıdır. Isıtma sıcaklık aralığında, istenen homojen östenit yapısı elde edilmesi ve yapıdaki karbürlerin çözülmesi sağlanır. Buradaki sıcaklık aralığı, çeliğin kimyasal yapısına, karbon ve alaşım elementlerinin oranına bağlı olarak çeliklerin türüne göre farklılık göstermektedir. İşlem esnasında tane büyümesinin engellenmesi gerekmektedir. Aşırı ısıtma yapılması durumunda, sertleştirilmiş çelikte çok fazla östenit yapısı oluşabilir ve bu istenmeyen bir durumdur. Bunun sonucunda, ani soğutma sonrası artı kalan östenit miktarı yüksek olabilir ve sertliğin düşmesine neden olur [30].

Ön ısıtma prosesi, malzemenin yüzey ve merkezi arasındaki sıcaklık farkının yaratacağı çatlakların önüne geçmek için birkaç aşamada yapılır. Yüksek alaşımlı çeliklerde bu risk daha fazladır. Ön ısıtma prosesiyle, yüzey ve malzeme gövdesinin merkezi arasında sıcaklık dengelemesi yapılmış olur. Ön ısıtma sonrasında ise proses, sertleştirme sıcaklığına (östenit fazı dönüşüm sıcaklığı) yükseltme ile devam eder [31].

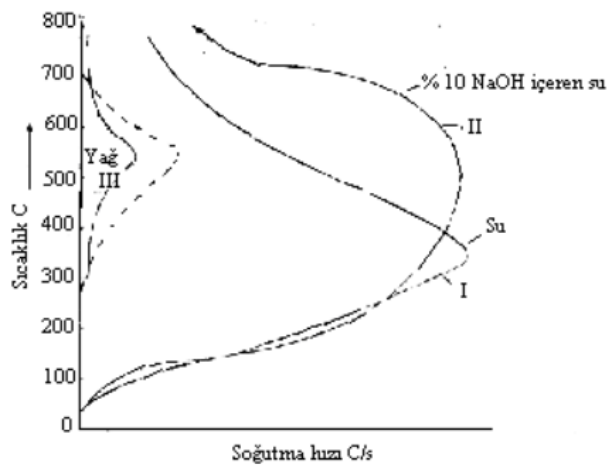
4.2.2. Sertleştirme sıcaklığında tutma

Sertlik sıcaklığında tutma süreleri, karbür miktarlarına göre çelik tiplerinde farklılık göstermektedir. Buna göre; az alaşımlı, sade karbonlu çeliklerde sertleştirme için östenit fazı dönüşüm sıcaklığına ulaşıldıktan sonra 5-15 dakika aralığında tutma süresi yeterlidir. Orta alaşımlı çeliklerde ise tutma süresi genellikle 15-25 dakika aralığındadır. İndüksiyonla sertleştirme yapılması durumunda daha yüksek sertleştirme sıcaklığı kullanılacağından, tutma süresi de buna bağlı olarak daha kısa olabilmektedir [30].

Tavsiye edilen tutma süreleri, malzemenin kesit kalınlığına göre milimetre başına 0,5 – 0,8 dakika kadardır. 0,5 dakika, sertleştirme sıcaklığı üst sınırdadır, 0,8 dk ise sertleştirme sıcaklığı alt sınırdadır ise uygulanmaktadır. Tutma sürelerinin kısa tutulması durumunda, katı eriyiğe daha fazla karbür girmekte, bu da sertliğin düşmesine neden olmaktadır. Tutma süresinin uzun tutulması sertliği düşürmektedir [31].

4.2.3. Ani soğutma

Çeliklerde sertleştirme için, ısıtma ve sertleştirme sıcaklığında tutma sonrası son yapılan işlem ani soğutmadır. Östenit sıcaklığına ısıtılan malzeme, kimyasal bileşenlerine göre belirlenen sertleştirme sıcaklığında tutulduktan sonra, perlit yapıya dönüştürülerek sertlik sağlanır. Burada soğutma hızı, östenit yapının perlit yapıya dönüşme hızıdır. Dönüşüm hızı, sıcaklık değerine bağlı olarak soğutma işleminin her kademesinde eşit olmayabilir. Yüksek karbonlu çeliklerde, perlitte dönüşüm hızı da buna paralel olarak yüksek olacaktır. Perlit yapıya dönüşüm hızı, yüksek karbon oranında yüksekken, düşük karbon oranında da azalacaktır [29].

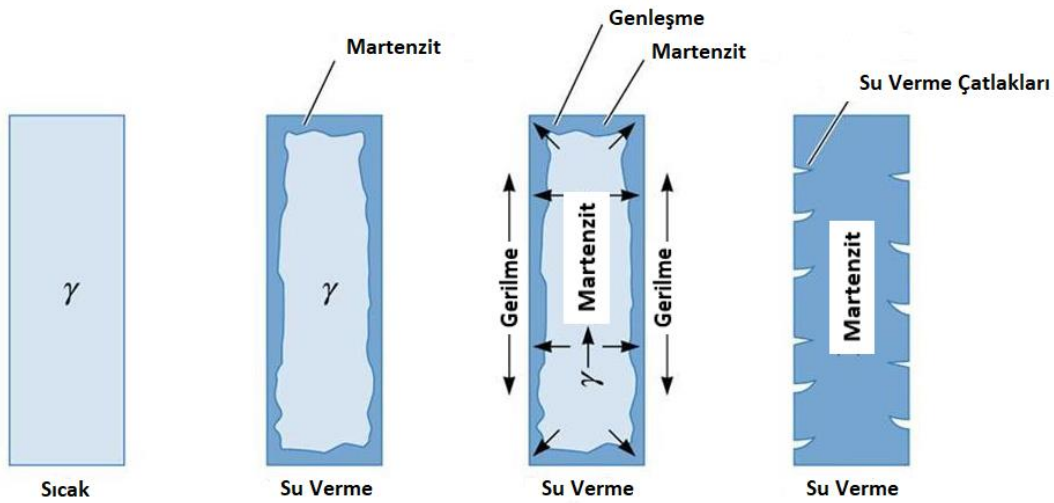


Şekil 4.4. Sıcaklığa Bağlı Olarak Dönüşüm Hızı ve Soğutma Hızı [29]

Şekil 4.4'te ostenit yapıdan perlit yapıya dönüşüm hızı, 550°C civarında maksimum değere ulaşmaktadır. 720 °C sıcaklığın altında perlit oluşum hızı yavaştır. 720 °C sıcaklıktan itibaren artmaya başlamış, maksimum değerden sonra tekrardan azalma eğilimi göstermiş ve 270 °C'de sifira yaklaşmıştır. Bu sıcaklık (270 °C) değeri, orta ve düşük karbonlu çeliklerin martenzit dönüşümüdür [31].

Çelikler ostenit sıcaklığına kadar ısıtma sonrasında ani soğutma işlemi uygulandığında, perlit oluşumunun önlenmesiyle martenzit bir yapı oluşur. Malzemenin gövde merkezi ile cidar arasında mesafe fazla ise, çeliğin ısı iletme faktörü de ön plana çıkmaktadır. Ani soğutma esnasında merkez ile cidar arasındaki sıcaklık farkı, malzemede gerilmelerin oluşmasını neden olur. Soğutmanın ilk safhasında, yüzeyler hızlı soğuduğu ve merkez sıcaklığı yüzeylere nazaran daha yavaş soğumasından dolayı, cidarlarda büzülme meydana gelecek ancak çekirdek merkezi tam tersi etki gösterecektir. Böyle bir durumda, cidar, çekirdeğe baskı uygulayacak ve malzeme yapısında gerilmeler meydana gelecektir. Cidarda oluşan gerilmeler çekme gerilmeleri, çekirdekte oluşan gerilmeler ise basma gerilmeleri şeklindedir. Elastik sınırın üzerinde bir gerilme oluşması durumunda, malzeme yapısında yüksek oranda boyut değişimleri meydana gelebilmektedir. Bu boyut değişimleri ve gerilmeler, malzemede çatlaklara ve kırılmalara neden olmaktadır [32].

Su verme sırasında oluşan artık gerilmelerin neden olduğu su verme çatlaklarının oluşumu Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Soğuma sırasında, ostenitin martenzite dönüştüğü sırada gerilmelerin gelişimini göstermektedir.



Şekil 4.5. Su Verme Sırasında Oluşan Artık Gerilmelerin Neden Olduğu Su Verme Çatlaklarının Oluşumu [32]

İdeal su verme koşulları, martenzit aşamasında çatlama önlemek amacıyla az ısı almalı, perlit aşamasında ise tam tersi daha çok ısı almalıdır. Yüksek sıcaklıklardaki malzemenin sıvı ortama koyulması ile yapılan soğutma işlemi, yüzeyde yalıtım etkisiyle buhar filmi oluşmasına neden olacaktır. Bu durum, başlangıçta yavaş gerçekleşir ancak sıcaklık azaldıkça ve ortam etkisiyle buhar filminde yırtılmalar meydana gelecek, kabarcıklar oluşacaktır. Soğutma esnasında yüksek sıcaklıktaki parçayla temas eden suyun buharlaşmasıyla soğuma hızı en yüksek değerlere çıkacaktır [32]. (400 °C – 500°C arasında)

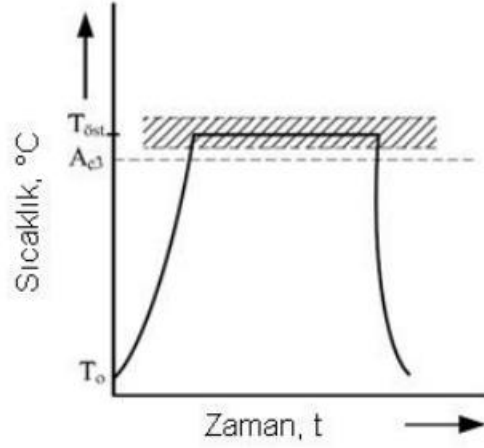
Su verme işleminin etkilerini belirleyen faktörler aşağıdaki gibidir:

- Alaşım elementi miktarı ve çeliğin ısı iletim kabiliyeti
- Soğutma ortamı ve sıcaklığı
- Malzemenin boyutu ve kesiti
- Çeliğin karbon ve alaşım elementleri miktarına bağlı olarak sertleşebilme davranışı
- Parçanın yüzey durumu
- Parçanın su verme ortamında kalma süresi
- Su verme ortamının soğutma kabiliyeti [30]

4.2.3.1. Doğrudan su verme

Halen yaygın olarak uygulanan, su ya da yağ gibi bir ortamda yapılan soğutma işlemidir. Ani soğutma esnasında parçanın merkezi ile cidar arasındaki sıcaklık farkı, malzemede gerilmelerin oluşmasını neden olur. Bu durum, parçada çarpılma veya çatlamalara neden olabilir. Bu nedenle, bu tür sertleşme derinliği az olan alaşımsız çeliklerde uygulanması tercih edilmez [30]. Kritik soğuma hızları düşük olan, alaşımlı çeliklere uygulanmalıdır. Bu tür çarpılma ve çatlama risklerini azaltmak için su verme gerilmelerini azaltan bazı yöntemler de uygulanabilir [25].

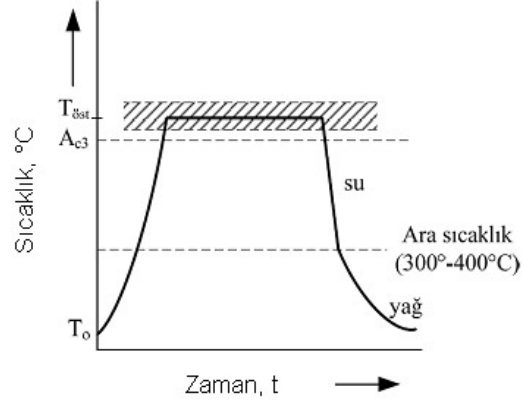
Su verme yönteminde ısıtılarak belli bir sıcaklık aralığında bir süre bekletilen çelik, doğrudan su verilerek oda sıcaklığına veya ortam sıcaklığının çok az üzerinde bir sıcaklığa soğutulur. Soğutma ortamı için genellikle su, yağ ya da hava kullanılmaktadır [31]. Doğrudan su verme işlemi adımları Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Doğrudan Su Verme İşlemi [31]

4.2.3.2. Kesikli su verme

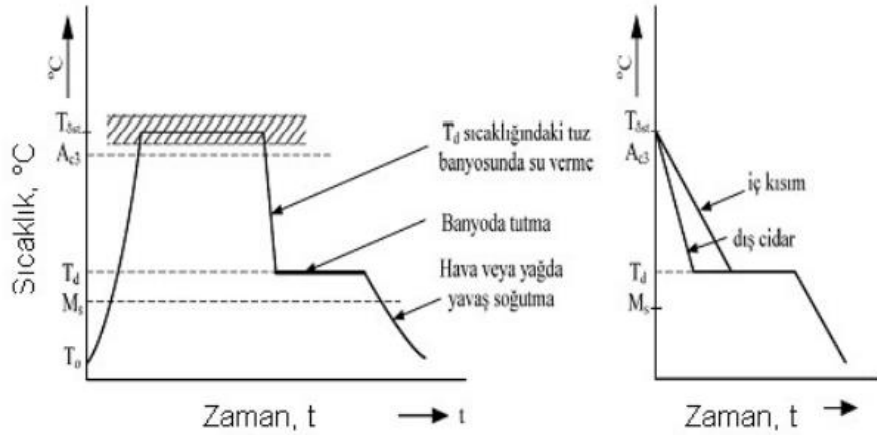
Çelikte martensit yapı oluşturmak için oda sıcaklığında ani soğutma işlemi, çeliğin yapısında büzülme, çarpılma ya da çatlamalara neden olabildiğinden dolayı, bu gibi istenmeyen durumları önlemek için çeliklere kesintili su verme işlemi uygulanmaktadır. Kesikli su verme işlemi adımları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Bu yöntemde yapılan temel proses, çatlamların gerçekleşebileceği kritik sınır eşliğinden sonra yavaşça soğutma yapılarak martensit oluşumunun sağlanmasıdır. Ostenit yapıdan, 300°C – 400°C ara sıcaklıkta hızlı soğutma yapılmaktadır. Sonrasında yüzey ve çekirdek arasındaki sıcaklık farkını dengelemek amacıyla yağda soğutma ile prosese devam edilir. Çatlakların oluştuğu, hızlı soğutma yapılan ara sıcaklığın tespiti ve uygulaması deneyim gerektirir ve çeliğin kimyasal yapısına göre farklılık gösterebilir. Bu nedenle çok tercih edilen bir uygulama yöntemi değildir [33]. Ancak doğrudan su verme yöntemine göre, parçada büzülme, çarpılma ya da çatlak oluşumu riski daha düşüktür.



Şekil 4.7. Kesikli Su Verme İşlemi [33]

4.2.3.3. Kademeli su verme

Komplike ve karmaşık şekilli üretim parçalarında, büzülme, çarpılma veya çatlak oluşumu riskini azaltmak için kademeli soğutma yöntemi uygulanır. Kademeli soğutma sonrasında karmaşık şekilli parçada %100 martenzit yapı oluşumu sağlanmış olur. Kademeli soğutma yapılırken, beynit oluşumunu önlemek için banyoda tutma süresine dikkat edilmesi gerekmektedir [33]. Kademeli su verme işlemi adımları Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



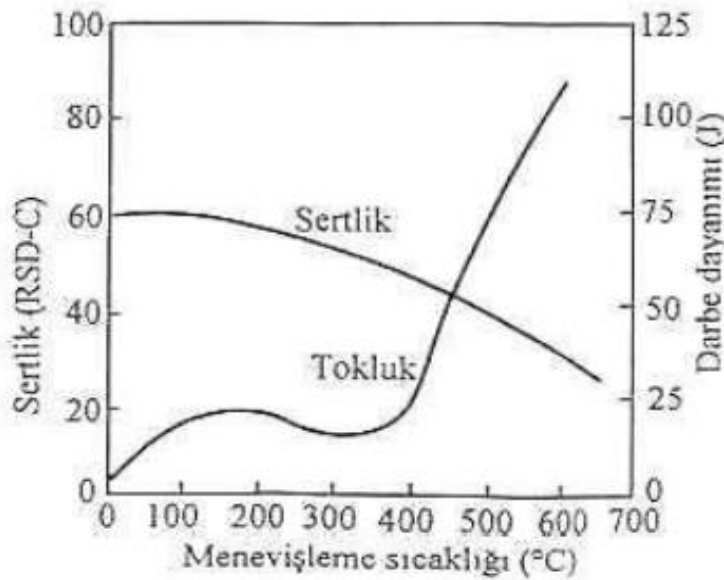
Şekil 4.8. Kademeli Su Verme İşlemi [33]

4.3. Temperleme

Temperleme, su verme sertleştirilmesi sonrasında yapılan sertleştirilmiş ya da normalize edilmiş bir çelik malzemeyi, alt kritik sıcaklığa ısıtılması ve sonrasında da belirlenen bir hızda soğutulması işlemidir. Temperleme işlemi, çeliğin tane boyutunu, tokluğu ve sünekliği arttırmak, çeliğe bazı mekanik özellikler kazandırmak, sertleştirme işlemi sonrasında çeliğin yapısındaki gerilmeleri almak ve boyutsal olarak

çeliğe kararlı bir yapı sağlamak için yapılmaktadır [34]. Ayrıca kaynak ve şekil verme gibi işlemlerden sonra malzemede oluşan gerilmeleri gidermek için de temperleme yapılabilir.

Sertleştirme sonrasında çelikte oluşan martenzit yapının tokluğunu arttırarak çeliği yumuşatmak için temperleme işlemine tabi tutulur. Böylece çelikte süneklik artarken, sertlik ve malzeme mukavemeti düşmektedir [21]. Temperleme esnasında oluşan temel değişiklik, temperleme sıcaklığına ve alaşım oranlarına bağlı olarak malzemenin mikro yapısında oluşan farklılığın neticesindedir. Çeliği, temperleme süresinde bekletme süresi de bu değişim esas faktörlerindedir [35]. Çünkü temperleme sıcaklığında hızlı bir değişim yaşanırken, bekletme süresinde ise daha yavaş bir değişim izlenmektedir. Şekil 4.9.'da 42CrMo4 çeliğinin temperleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik ve darbe dayanımı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 42CrMo4 Çeliğinin Temperleme Sıcaklığına Bağlı Olarak Sertlik ve Darbe Dayanımı Değişimi [21]

Temperleme işlemi sonrası çeliğin yavaşça soğutulması durumunda, belli bir sıcaklıkta çeliğin dayanımı düşecektir ve bu duruma da temper gevrekliği denilmektedir. Çeliklerde böyle bir temper gevrekliği durumu, oda sıcaklığı üzerinde gerçekleşir. Çentik darbe testleri ile bu durumun tespiti yapılmaktadır. 0 - 150 °C sıcaklık aralıklarında çeliğin çentik darbe dayanımı genellikle sabittir. Düşük sıcaklıklarda ise ani bir düşüş göstermektedir. Temperleme sonrasında çelikte oluşan

kırılgan yapı, dayanım – sıcaklık eğrisinde yüksek sıcaklık aralıklarına kaymasına sebep olur [35].

Tehlikeli (kırılganlığa sebep olacak) sıcaklık aralıklarında, kısa bekletme süresi uygulamak, mangan alaşımlı çelikler kullanılacağına yapısında molibden de bulunan çelikler tercih etmek, tehlikeli sıcaklık üzerinde suda ya da yağda hızlı soğutma yapmak, temper sıcaklığından kaçınarak alternatif mekanik metodlar tercih etmek temper kırılganlığını önleyen unsurlardır [31].

Temper bekletme süresi, çelik parçanın kesit kalınlığına göre farklılık göstermektedir. Malzemede sertlik düşüşü, temperlemenin ilk aşamalarında başlamaktadır. Temperleme işlemi sonrasında soğutma hızı, malzemenin tokluk değerlerini etkileyen başlıca faktörlerdendir. Soğutma hızının yanı sıra, çelik malzemenin kimyasal yapısı, içeriğindeki alaşım elementleri oranı da sertlik, tokluk ve süneklik üzerinde önemli diğer faktörlerdir [31].

4.3.1. C45 Çeliğinin mekanik özellikleri

C45 çeliğinin mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5. C45 Çeliği Mekanik Özellikleri [17]

Çelik Türü	Çelik No	Kalınlık ^a (mm)	Haddelenmiş+Tornalanmış (+SH) ^b		Soğuk Çekilmiş (+C)		
			Sertlik ^c (HBW)	R_m MPa	$R_{p0.2}$ ^d MPa (min)	R_m ^d MPa	A (min)
C45	10.503	$\geq 5 \leq 10$	-	-	565	750 - 1050	5
		$> 10 \leq 16$	-	-	500	710 - 1030	6
		$> 16 \leq 40$	172 - 242	580 - 820	410	650 - 1000	7
		$> 40 \leq 63$	172 - 242	580 - 820	360	630 - 900	8
		$> 63 \leq 100$	172 - 242	580 - 820	310	580 - 850	8

C45 çeliklerinin, su verme ve temperlemeden sonra sertlik değerleri 20 HRC~30 HRC arasındadır. Su vermeden sonra, sertlik 55 HRC~58 HRC aralığındadır ve 62 HRC'ye kadar olan sınır değer arasındadır. Çeliğin performansını stabil hale getirmek için kullanımdan 15-20 gün önce işlenmesi ve yerleştirilmesi tercih edilir [18]. Pratik uygulama için en yüksek sertlik değeri 55 HRC'dir. Yüksek frekanslı su vermede 58 HRC'ye kadar çıkabilir. Düşük sertliğe sahip C45, yüksek kaliteli karbon yapı çeliğidir. Kesilmesi kolaydır ve kalıp, kılavuz direği, uç, şablon vb. yapmak için kullanılır. Karbürize edilmiş ve söndürülmüş ısıtma işlem süreci C45 çeliklerinde tercih edilen bir method değildir.

4.3.2. C45 Çeliğinin kimyasal özellikleri ve kimyasal kompozisyonları

C45 çeliklerinin dövme işlemleri, genellikle 850°C–1250°C arasında yapılır, sıcaklık homojen olarak dağılına kadar tutulur ve sonrasında fırında soğutma yapılır. Tavlama işlemleri ise 800°C–850°C arasında uygulanır, sıcaklık homojen olarak dağılına kadar tavlama devam eder ve genellikle fırında soğutma yapılır. C45 çeliklerinde normalize işlemi genellikle 870°C–920°C sıcaklık aralığındaki normalize fırınlarında uygulanır. Sıcaklık homojen olarak dağılım gösterene kadar, 10-15 dakika bekletilir. Durgun ve serin havada soğutma yapılır. Gerilim giderme işlemi, 550°C–660°C sıcaklıkları aralığında uygulanır, sıcaklık homojen olarak dağılına kadar tutulur. Yaklaşık olarak, 25 mm'lik kesit başına 1 saat bekletilir. Durgun ve serin havada soğutma yapılır. Sertleştirme işlemi, 820°C–850°C arasına ısıtılır. Sıcaklık homojen dağılına kadar tutulur, ortalama 25 mm kesit için 10–15 dakika bekletilir. Suda veya tuzlu suda söndürme işlemi uygulanır. Temperleme işlemi, gerektiğinde 400°C–650°C sıcaklığına yeniden ısıtılarak uygulanır. Sıcaklık homojen olana kadar tutulur. Ortalama 25 mm'lik bölüm başına 1 saat bekletilir. Durgun ve serin havada soğutma yapılır [16]. C45 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.1. C45 Çeliği Kimyasal Kompozisyon Tablosu [8]

STANDART	ASTM A29/A29M- 05	EN 10083/2- 2006	JIS G4051- 2009	ISO 683/18- 1996
C(%)	0.43-0.50	0.42-0.50	0.42-0.48	0.42-0.50
Mn(%)	0.60-0.90	0.50-0.80	0.60-0.90	0.50-0.80
P(%)	Maksimum 0.040	Maksimum 0.045	Maksimum 0.030	≤0.035
S(%)	Maksimum 0.050	Maksimum 0.045	Maksimum 0.035	≤0.035
Si(%)	Maksimum 0.10	Maksimum 0.40	0.15-0.35	0.10-0.40
Cr(%)	-	Maksimum 0.40	-	-
Mo(%)	-	Maksimum 0.10	-	-
Ni(%)	-	Maksimum 0.40	≤0.20	-

4.3.3. C45 Çeliğinin kullanım alanları

C45 çelikleri, düşük karbonlu çelikten daha yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren endüstri uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle makine ve otomotiv sektörlerinde dişliler, miller, silindirler, krank milleri, soketler,

civatalar vb. gibi orta zorlamalı parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca kalıp ve kalıp setleri, aparatların yapımında da kullanılmaktadır [8].

Genel olarak kullanım alanları aşağıdaki gibidir [8]:

- Mil ve aksların imalatı
- Bıçak ve boya sıyırıcıların imalatı
- Saplamaların ve millerin imalatı
- Otomotiv sektöründe kullanılan parçaların imalatı
- Farklı mühendislik uygulamalarında kullanılan parçaların imalatı
- Farklı çeşitlerde dişlilerin imalatı

4.4. 42CrMo4 Çeliği

42CrMo4 çeliğinin Alman normundaki karşılığı DIN 1.7225 çeliğidir. Yaygın olarak kullanılan Cr-Mo tipik alaşımlı çelik serilerinden biridir. 42CrMo4, sertleştirme elementi olarak en az %0.9 Cr ve %0.15 Mo içeren ısıtma işlemi görebilen bir çeliktir. Su verildikten ve temperlendikten sonra, 900 -1200 N/mm² tipik çekme mukavemeti ile yüksek mukavemet, iyi bir düşük sıcaklık darbe tokluğu elde eder. 42CrMo4 çeliği, daha yüksek karbon ve krom içeriği nedeniyle 34CrMo4 çeliğinden ve diğer bazı alaşımlı çeliklerden daha iyi performansa sahiptir. Bu çelikler, ayrıca iyi işlenebilirliğe, iyi aşınma direncine sahiptir ancak temper kırılabilirliği iyi değildir. Açık ve kaynaklanabilirlik açısından da zayıftır [19].

Tablo 4.2. 42CrMo4 Çelik Standart Eşdeğer Tablosu [8]

ÜLKE	ABD	BİRLEŞİK KRALLIK	JAPONYA	GERMANY
Standart	ASTM A29	BS 970	JIS G4105	DIN 17200
Kalite	4140	42CrM04	SCM440	42CrM04

Kaliteli bir alaşımlı çelik olarak 42CrMo4 kalitesi yaygın olarak iyi yüksek çekme özellikleri sunan su verilmiş ve temperlenmiş olarak tedarik edilir. İyi sünekliği ve iyi aşınma direnci ile birleşen darbeye dayanıklı özellikleri bulunmaktadır. Maksimum aşınma ve aşınma direnci sağlamak için sığ derinlikte aşınmaya dayanıklı bir gövde sağlayan nitrürleme için uygundur. 50 HRC veya daha yüksek bir gövde sertliği verebilen indüksiyon veya alevle sertleştirme için de uygundur [20].

4.4.1. 42CrMo4 Çeliğinin fiziksel özellikleri

42CrMo4 çelikleri, yüksek çatlak hassasiyeti nedeniyle düşük kaynaklanabilirliğe sahiptir. Sertlik değerleri; kesilebilirliği iyileştirmek için ısıtılma işlemi gördüğü takdirde maksimum 255 HB, yumuşak tavlama durumunda maksimum 241 HB, ön soğutulmuş ve temperlenmiş durumda 280-320HB aralığında, alevle veya indüksiyonla sertleştirilmiş durumda ise minimum 53 HRC sertliğindedir.

- Yoğunluk: 7,83 g/cm³
- Özgül ısı kapasitesi: 0,473 kJ/(kg*K)
- Doğrusal genişleme katsayısı: 11,2 K⁻¹
- Isı iletkenliği: 0,42 kW/(cm*K)
- Elektrik öz direnci: 0,223 Ω*cm
- Young modülü: 21,7 kG/mm²

4.4.2. 42CrMo4 Çeliğinin mekanik özellikleri

42CrMo4, mukavemetli ve sertleştirilebilir yapısal çeliklerdir. Yüzey sertleştirme işlemi uygulandığı durumda, yüzeyde 54-59 HRC sertliğe ulaşılabilir. Gaz, asetilen-oksijen veya propan-bütan-oksijen alevi ile ön ısıtmadan sonra oksijenle kesilir. Plazma jeti ile kesim yapmak da mümkündür. Malzeme, havada soğutulduktan sonra kesilmeden önce 300-400 °C'ye ısıtılmalıdır. 42CrMo4 çelik çubuk ve levhalar, soğuk işleme, ısıtma ve su verme ile sertleştirilebilirler [4]. 42CrMo4 alaşımlı çelikler, genellikle 18-22 HRC sertliğe kadar ısıtılma işlemi görmüş olarak hazır şekilde tedarik edilir. Daha fazla ısıtılma işlemi gerekiyorsa, 840°C–875°C'ye ısıtılır, gövde boyunca sıcaklık eşit olana kadar tutulur, her 25 mm'lik bölüm için 10–15 dakika bekletilir ve gerektiği gibi yağ, su veya polimerde soğutulur işlem tamamlanır [21]. Çeliği dikkatlice ön ısıtmaya tabi tutulur, maksimum 1150°C–1200°C'ye ısıtıldıktan sonra gövde bölümü boyunca sıcaklık eşit olana kadar tutulmalıdır. 850°C'nin altında dövme yapılmamalı ve dövme işleminden sonra iş parçası mümkün olduğunca yavaş soğutulmalıdır. 42CrMo4 çeliğinin mekanik özellikleri Tablo.3.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. 42CrMo4 Çeliği Mekanik Özellikleri [20]

Mekanik Özellikler	Değer
Çekme Dayanımı	655 MPa
Akma Dayanımı	415 MPa
Bulk Modülü	140 GPa
Kesme Modülü	80 GPa
Elastik Modülü	190-210 GPa
Poisson Oranı	0.27-0.30
Kopma Uzaması (50 mm'de)	25.70%
Sertlik (Brinell)	197
Sertlik (Knoop)	219
Sertlik (Rockwell b)	92
Sertlik (Rockwell c)	13
Sertlik (Vickers)	207
İşlenebilirlik (AISI 1212'ye göre 100 işlenebilirlikte)	65

4.4.3. 42CrMo4 Çeliğinin kimyasal özellikleri ve kimyasal kompozisyonları

42CrMo4 çeliğine, 900 – 1100°C sıcaklık aralığındaki dövme işleminden sonra durgun havada veya kumda olabildiğince yavaş soğutma uygulanır. 42CrMo4 (ASTM 4140) çeliklerinde tavlama, 800°C–850°C'ye kadar ısıtma, gövde boyunca sıcaklık homojen olana kadar tutulma ve fırında soğutma şeklinde uygulanır. 42CrMo4 çelik alaşımında normalize, 870°C–900°C arasında ısıtma, kesit boyunca sıcaklık eşit olana kadar tutulma, 10–15 dakika bekletme ve durgun havada soğutma şeklindedir. Temperleme işleminde ise gerektiği gibi 550°C–700°C sıcaklık aralığına yeniden ısıtılır, sıcaklık kesit boyunca eşit olana kadar tutulur, her 25 mm'lik kesit için 1 saat bekletilir ve durgun havada soğutulur. Son olarak, 42CrMo4 alaşım çeliklerinde gerilim giderme işlemi ise 450°C -650°C arasında ısıtma ve havada soğutma ile yapılmaktadır [21]. 42CrMo4 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4. 42CrMo4 Çeliği Kimyasal Kompozisyon Tablosu [22]

Standart	ASTM A29	EN 10250	JIS G4105
	4140	42CrMo4	SCM440
C (%)	0.38-0.43	0.38-0.45	0.38-0.43
Mn (%)	0.75-1.00	0.6-0.9	0.60-0.85
P (%)	0.035	0.035	0.03
S (%)	0.040	0.035	0.03
Si (%)	0.15-0.35	0.4	0.15-0.35
Ni (%)	-	-	-
Cr (%)	0.8-1.10	0.9-1.2	0.9-1.2
Mo (%)	0.15-0.25	0.15-0.30	0.15-0.30

4.4.4. 42CrMo4 Çeliğinin kullanım alanları

42CrMo4 (AISI SAE 4140) alaşımlı çelik, akslar, miller, krank milleri, civatalar, dişliler ve diğer uygulamalar gibi bileşenler için genel amaçlı yüksek gerilimli çelikte yaygın olarak kullanılan bir krom molibden alaşımlı çelik özelliğidir. Pahalı krom-nikel ve krom-nikel-molibden çeliklerine iyi bir alternatiftir. 42CrMo çelik çubuk, yassı veya levha malzeme, daha düşük karbon kalitelerine göre daha fazla tokluk ve aşınma direncinin gerekli olduğu çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Ayrıca bağlantı çubukları, takım tezgahları için daha büyük miller, zincir çarklar, motor silindirleri, bilyalı pimler, çok kanallı miller ve değişen eğilme ve burulma yüklerine ve aşınmaya maruz kalan diğer makine parçalarında da kullanılmaktadır [20].

Genel kullanım alanları :

- Adaptörler, tutucu bloklar, kalıp tabanları, ejektörler, yedekleme ve destek araçları
- Fikstürler, masterlar, kalıplar, kamlar, matkap bilezikleri
- Aks milleri, civatalar, krank milleri, saplamalar, kaplinler, rayba gövdeleri, akslar, şaftlar, piston çubukları
- Şahmerdanlar, hidrolik makine milleri, dişliler, zincir dişlileri, dişli rafları, zincir bağlantıları, miller
- Alet gövdeleri, alet tutucular, bağlantı çubukları, bağlantı çubukları, ayna gövdeleri, pensler, konveyör pimleri ve merdaneler, itici pimler
- Dişliler, kılavuz çubuklar, hidrolik mil ve parçalar, torna milleri, freze milleri, motor milleri, somunlar
- Şekillendirme kalıpları, fren kalıpları, trim kalıpları, destekler, makine parçaları ve bileşenleri

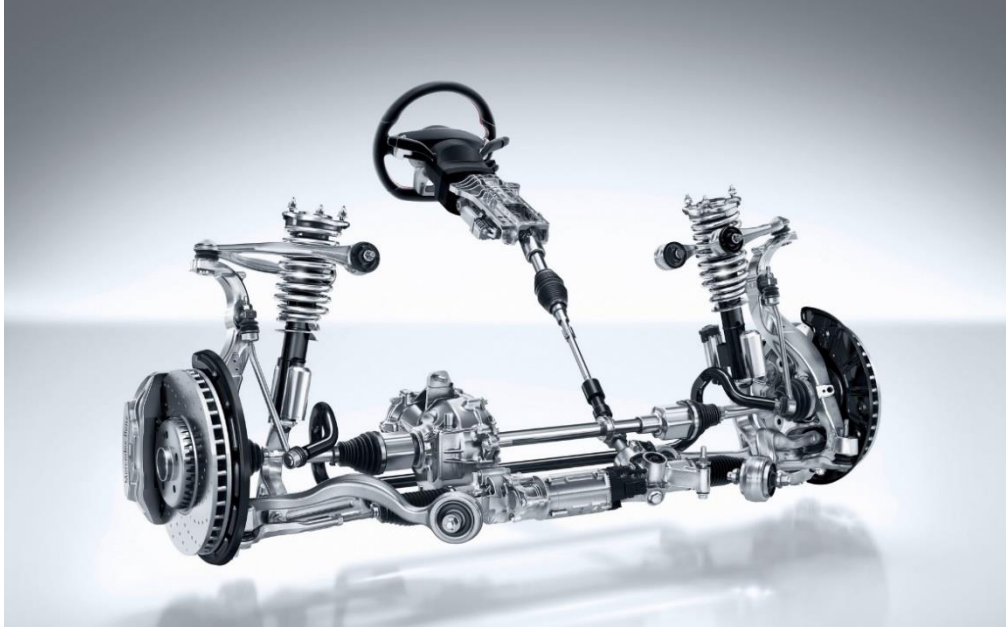
Kısacası bir krom molibden alaşımlı çelik olarak 42CrMo4, iyi çekme özelliklerinin gerekli olduğu çok çeşitli uygulamalar için uygundur [8].

5. OTOMOBİLLERDE DİREKSİYON VE SÜSPANSİYON SİSTEMİ

Bir araç şasisi, güvenli ve konforlu bir sürüş sağlamak için hepsi birlikte çalışan birkaç sistemden oluşur. Şasi, çerçeveyi (veya yekpare gövdeyi), fren sistemini, direksiyon ve süspansiyon sistemlerini ve tekerlek takımlarını içerir. Otomobil direksiyon ve süspansiyon sistemi genel görünümü Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.

İdeal bir ön düzen geometrisi, taşıt için şu özellikleri taşımalıdır:

- Emniyetli, düzgün bir hareket ve manevra kabiliyeti
- Daha iyi bir yol tutuşu
- Direksiyon kolaylığı, direksiyon hakimiyeti ve kararlılığı, dönme hareketinden sonra direksiyonun eski pozisyonuna geri gelmesi
- Lastik ve ön düzen bağlantılarındaki aşınmaların en aza indirilmesi
- Yakıt tasarrufu [36]



Şekil 5.1. Otomobil Direksiyon ve Süspansiyon Sistemi Genel Görünümü [37]

5.1. Direksiyon Sistemi

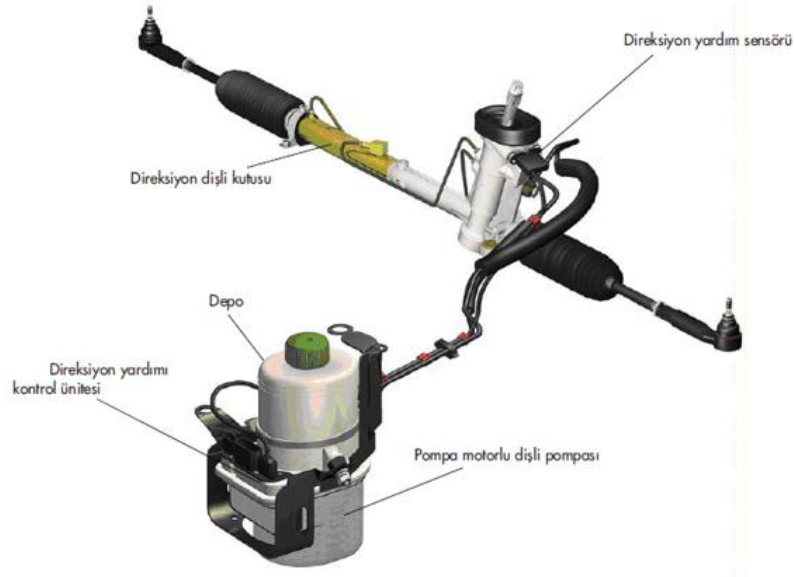
Direksiyon sistemi, rahat bir direksiyon eforu ile yön kontrolü sağlamak için süspansiyon sistemi ile birlikte çalışır. Bunu aracın süspansiyon sisteminde gerekli harekete izin verirken yapmalıdır. Bazı parçalar her iki sisteme de hizmet eder. Direksiyon sistemi bir direksiyon dişlisi, direksiyon bağlantısı, direksiyon kolunu ve direksiyon simidinden oluşur [38]. Şekil 5.2.'de direksiyon sistemi genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5.2. Direksiyon Sistemi Genel Görünümü [37]

Direksiyon sisteminin taşıt üzerindeki en temel görevi, direksiyon simidinde oluşturulan dönme hareketini, direksiyon dişli kutusunda doğrusal harekete çevirerek ve dönme kuvvetini artırarak tekerleklere iletmek, böylece tekerleklerin yönlendirilmesini sağlamaktır. Direksiyon simidinden elde edilen döndürme kuvveti (torku), direksiyon mili vasıtasıyla direksiyon dişli kutusuna aktarılır. Direksiyon mili, direksiyon dişli kutusundaki dairesel hareket yapan dişliyi (pinyon dişli) döndürür, pinyon dişli; düz bir mil üzerine açılmış frezeli kanallardan oluşan kremayer dişlisini hareket ettirir. Böylece pinyon dişli döndükçe (daireysel hareketle), kremayer sağa-sola (doğrusal) hareket etmektedir. Kremayer dişlisinin uç kısımlarına bağlı olan rot kolları (bağlantı çubukları) ile bu doğrusal itme-çekme hareketi, tekerlek göbeğine iletilerek burada yer alan bağlantı elemanları olan rot başları ile itme kuvveti şeklinde iletilmektedir. Bu itme kuvvetinin etkisi ile yataklandırılmış olan tekerlek göbeği sağa veya sola dönme hareketi gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda direksiyon simidindeki döndürme hareketi farklı tip dişli kutularına sahip direksiyon sistemleri ile de tekerleklere iletilmektedir. Ağır vasıta ticari araçlarda kullanılan direksiyon dişli kutuları da kremayer sistemli dişli kutuları gibi çalışmanın yanı sıra maruz kaldığı kuvvet ve döndürme momentleri oldukça yüksektir [38].

Direksiyon sisteminin temel görevi araç sürücüsünün yol ve sürüş şartlarına göre istenilen tarafa aracı sevk ve idaresini sağlamaktır. Bu esnada aracın toplam yükü çalışma şartlarına bağlı olarak tekerlekler üzerinden zemine iletilmektedir. Bu yüklerle beraber tekerleklerde dönüş hareketinin sürücü tarafından gerçekleştirilmesi oldukça zorlaşmaktadır. Bu zorluğun ortadan kaldırılması için direksiyon sistemlerinde bazı destek mekanizmaları ve dişli destek sistemleri geliştirilmiştir [40]. Şekil 5.3.'te elektro-hidrolik direksiyon sisteminin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5.3. Elektro-Hidrolik Direksiyon Sistemi [37]

Direksiyon manevra hareketi düzlemsel bir harekettir ve dönme hareketini de bir dönme merkezi etrafında gerçekleştirilen bir hareket olarak tanımlayabiliriz. Dönme hareketindeki merkeze hayali dönüş veya yönlendirme merkezi denilmektedir. Geometrik olarak düzgün ve doğru yönlendirme için Ackerman geometrisi kullanılmakta ve bu sayede gerek hareketli parçaların açınmalarının azaltılması gerekse stabil bir dönüş sağlanabilmektedir [40]. Düzlemsel hareket yapan bir taşıtın dönüş hareketi esnasında her tekerleği bir yay üzerinde hareket etmektedir. Dönüş esnasında taşıt kararlılığını korumak ve minimum tekerlek aşınması sağlamak için tekerleklerin kaymadan yuvarlanmasını sağlamak gerekir. Tekerleklerin taradıkları yayların merkezinin yani hayali dönme merkezlerinin çakışık olması koşulu önemlidir [41].

Günümüz araçlarında iki tip direksiyon sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Kremayer, pinyon direksiyon

- Konvansiyonel direksiyon

5.1.1. Kremayer, pinyon direksiyon sistemi

Kremayer ve pinyon direksiyon, direksiyon simidinden dairesel hareketi düz bir kremayer üzerinde dişlerle birbirine geçen bir pinyona iletir. Pinyon, kemayeri doğrusal bir yönde hareket ettirerek tekerlekleri yönlendirir. Kremayer ve pinyon direksiyon; otomobillerde, minivanlarda ve küçük SUV araçlarda bulunabilir. Geleneksel direksiyon sistemlerine göre üretimi daha basit ve daha ucuzdur [40].

5.1.2. Konvansiyonel direksiyon sistemi

Konvansiyonel direksiyon, direksiyon simidinden gelen dairesel hareketi, bir kolu ileri geri bir yay boyunca hareket ettiren ve tekerlekleri yönlendirmek için bir dizi bağlantı üzerinde hareket eden bir dişli aracılığıyla iletir. Ayrıca kullandığı dişli türü için "devirde dönen bilye" veya "sonsuz dişli" direksiyon veya bağlantı seti tarafından oluşturulan şekil için "paralelkenar", "yamuk" veya basitçe "bağlantı" direksiyonu olarak da adlandırılır [38]. Bu tür bir sistem, çoğu arkadan çekişli otomobilde, hafif kamyonlarda ve tam boyutlu kamyonetlerde bulunabilir.

5.2. Süspansiyon Sistemi

Süspansiyon sistemi, şase ve tekerler arasında bulunan, yaylar, amortisör, salıncak kolları ve bağlantı elemanlarından oluşan sistemdir. Aracı destekleyerek tekerleklerin yoldaki düzensizlikler üzerinde yukarı ve aşağı hareket etmesini sağlar. Lastikleri her koşulda yolla sıkı temasta tutarken şasi, motor, şanzıman ve yolcular için sürüşü yastıklama özelliği taşır. Süspansiyon sistemi parçaları arasında yaylar, sönümleme cihazları (şoklar), bilyeli mafsallar, direksiyon mafsalları ve miller veya akslar bulunur [41]. Günümüz araçlarında iki tip ön süspansiyon sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar, MacPherson gergili süspansiyon ve çift salıncaklı süspansiyon sistemleridir. Bunların dışında, çok kademeli süspansiyon sistemi de bulunmaktadır ancak MacPherson ve çift salıncaklı süspansiyon sistemleri kadar yaygın kullanılmamaktadır. İlk otomobillerde, bazı orta ve ağır hizmet kamyonlarında, dört tekerlekten çekişli araçlarda düz dingil (I-profil) ön süspansiyon bulunur ve yakın zamana kadar bazı hafif kamyonlar, ikiz I-profil süspansiyonu adı verilen bir varyasyonla yapılmıştır [41]. Birçok arka süspansiyon hala düz bir aks kullanır.

Süspansiyon sistemlerinin, yoldan gelen titreşimleri sönmleme özelliği bulunmaktadır. Araç çalışırken, meydana gelen titreşim, darbe ve yorulma etkilerini sönmleyebilmesi için süspansiyon sistemi parçalarının tasarımı önemli bir unsurdur. Süspansiyon sistemleri, araç üzerinde yolcuların konforunu sağlayan çok önemli sistemdir. Ayrıca, süspansiyon sistemi elemanları hızlanma, yavaşlama, dönme, ani durma gibi sürüş koşullarında güvenliği sağlayan önemli parçalardır. Süspansiyon sistemi elemanları, aracın dinamik tasarımına etki en önemli unsurlardır. Şekil 5.4.'te süspansiyon sistemi ön görünümü gösterilmiştir. Genel olarak süspansiyon sisteminin araç üzerindeki görevleri şu şekildedir:

- Araç gövdesinin gelen kuvvet, darbe ve titreşim gibi faktörlerden izole edilmesi.
- Aracın hareket özelliklerinin kontrol altında tutulması ve yalpalamaları önlemesi.
- Yolculara güvenli bir sürüş ve konfor sağlanması.
- Farklı yol koşullarında aracın hızlanma, yavaşlama, dönme hareketi durumlarında yol tutuşu sağlanması
- Aracın şasesine gelen dikey kuvvetlerin etkisinin azaltılması
- Aracın statik ağırlığını ve dinamik tasarımını kontrol altında tutması ve dengelemesi.



Şekil 5.4. Süspansiyon Sistemi Ön Görünümü [37]

5.2.1. MacPherson süspansiyon sistemi

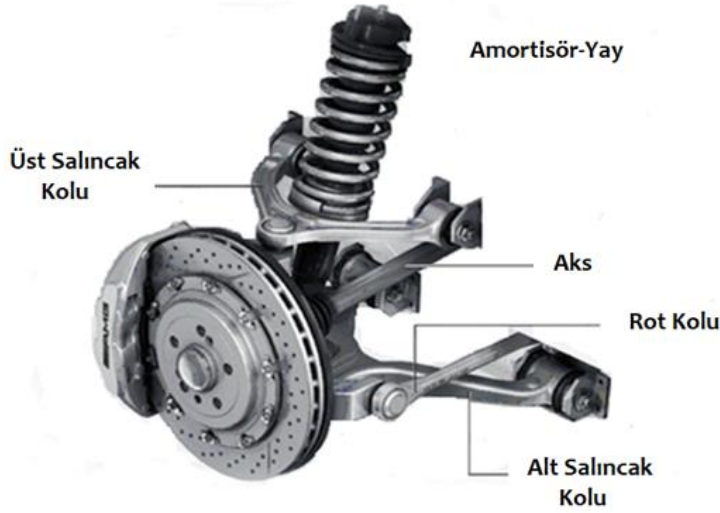
MacPherson süspansiyon sistemi, 1949 yılında Earles S. MacPherson tarafından Ford araçlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Çift salıncaklı ve diğer süspansiyon

sistemlerine göre daha sade ve düşük parça adedi nedeniyle daha az maliyetlidir [39]. MacPherson gergi süspansiyonu, bir helezon yayı ve bir amortisörü her iki tarafta tek bir üniteye birleştirir. Destek, üstte gövdeye ve altta bir bilyeli mafsal vasıtasıyla alt kontrol koluna bağlanır. Kontrol kolunun diğer ucu çerçeveye takılır ve kauçuk burçlar üzerinde döner. Direksiyon mafsalı, dikmeye sağlam bir şekilde monte edilmiştir. Şekil 5.5.'te MacPherson süspansiyon sistemi ön aks elemanları gösterilmiştir. Bu süspansiyon, çift salıncaklı tasarımından daha hafif ve daha küçüktür. Kremayer ve pinyon direksiyonlu daha küçük araçlarda bulunabilir. Önden çekişli araçlarda yaygın olarak kullanılır.



Şekil 5.5. MacPherson Süspansiyon Sistemi Ön Aks Elemanları [39]

MacPherson süspansiyon sistemi, yay, burçlar ve amortisörler vasıtasıyla araç gövdesine bağlanırlar. Yol koşullarından gelen darbe, kuvvet, titreşim gibi bir çok etki süspansiyon sistemindeki yay ve amortisör elemanları ile sönümlenmektedirler. Çift salıncak süspansiyon sistemlerinden farkı, üst salıncak olmaması ve bunun yerinde kayan bir sistem olmasıdır [36]. Bu şekilde sistemde iki ayrı salıncak kullanılmaması sağlanmıştır. Özellikle küçük ve orta sınıf araçlarda bu sistem daha çok tercih edilmektedir. Enine motorlu araçlarda avantaj sağlaması nedeniyle, önden çekişli araçlarda yoğunlukla kullanılan bir süspansiyon sistemidir. Şekil 5.6.'da MacPherson süspansiyon sistemi ön aksı gösterilmiştir. Komplike olmaması, daha hafif ve sade tasarıma sahip olması, bu faktörlere bağlı olarak daha az maliyetli olması da tercih edilme sebeplerindedir. Temel avantajı ise tüm süspansiyon parçalarının tek bir sistemde montajlanabiliyor olmasıdır. Eğimli tasarım yapısı sayesinde, aracın dinamik



Şekil 5.7. Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi Elemanları [37]

Çift salıncaklı, yani çok kademeli bu süspansiyon sistemleri komplike bir yapıya ve dinamik tasarıma sahiptir. Bu durum, sistemdeki parça sayısını fazlalaştırmakta ve sistemin maliyetini arttırmaktadır. Ancak tek salıncak kollu süspansiyon sistemlerine göre farklı yol koşullarında darbe, titreşim gibi etkileri daha iyi sönümleyebilmekte ve daha yüksek bir sürüş konforu sağlayabilmektedir. Tek salıncak kollu, tek kademeli sistemlere göre daha esnek bir tasarım yapısına sahiptir. Bu gibi faktörler nedeniyle daha komplike ve daha pahalı bir sistemdir [42]. Ancak sağladığı üstün yol tutuşu, sürüş konforu ve araç güvenliği nedeniyle özellikle orta ve üst segment araçlarda bu süspansiyon sistemi tercih edilmektedir.

5.3. Direksiyon ve Süspansiyon Sistemi Elemanları

Aracın şasesi ve tekerleri arasında bulunan süspansiyon sistemi elemanları, yoldan gelen titreşim etkilerini sönümlemek amacıyla tasarlanmaktadır. Süspansiyon sistemi elemanları sürüş konforu ve sürüş güvenliği açısından yüksek önem arz etmektedir. Şase ve tekerlekler arasındaki süspansiyon sistemi, direksiyon ile ön düzen geometrisinde bir bütünlük içinde çalışmaktadır. Araç şasesi ile ön tekerlekler arasında bağlantılı çalışan sistem elemanlarının tümüne ön süspansiyon sistemi; araç şasesi ile arka tekerlekler arasında bağlantılı çalışan sistem elemanlarının tümüne ise arka süspansiyon sistemi adı verilmektedir. Amortisör ve yayları haricinde, genel olarak otomobil ve hafif ticari araçlarda direksiyon ve süspansiyon sistemi elemanları, rot, rot başı, rot mili, z-rot, salıncak kolu ve burçlardan oluşmaktadır. Ağır vasıtalar ise

bunlara ek olarak, çeki kolu, rot kolu, pitman kolu ve idler kolu gibi parçalar bulunmaktadır [41].

5.3.1. Rotil

Rotiller, salıncak kolları ile tekerler arasında bağlantı sağlayan önemli bir süspansiyon sistemi elemanıdır. Şekil 5.8.'de farklı tasarımlarda rotıl çeşitleri gösterilmiştir. Sistemin bağlantısını aks taşıyıcıları yardımıyla tamamlarlar. Tekerleklerin yön değiştirmesi esnasında, zeminden gelen yol koşullarındaki değişikliklerde hareketin tüm eksenlerde güvenli bir şekilde gerçekleşmesini sağlarlar. Süspansiyon tasarımına bağlı olarak rotiller, ya bir yük taşıyıcı olarak ya da bunu takip eden bilyeli mafsalları elemanı olarak iki ayrı işlev görebilir. Çift salıncak kolu bulunan süspansiyonlarda, üzerinde yay monte edilmiş kumanda kolundaki rotiller, yük taşıyıcıdır. Bu genellikle alt bilyeli mafsallardır. MacPherson tipi süspansiyon sistemlerinde ise, rotiller bilyeli mafsalları elemanı olarak bir takipçidir. Yük, gövde tarafından üst dikme bağlantısındaki bir yatak vasıtasıyla taşınır. Takip elemanı olarak bilyeli mafsallar, gerekli pivot noktalarını sağlar ve parçaları uygun konumlarında tutar. Bir bilyeli mafsalları yük taşıyıcı mı yoksa takipçi mi olduğu önemli bir ayrımdır. Rotiller süspansiyon sisteminin farklı noktalarında, araç marka modellerinin ve süspansiyon tiplerinin tasarımına göre farklılık gösterebilirler [41].

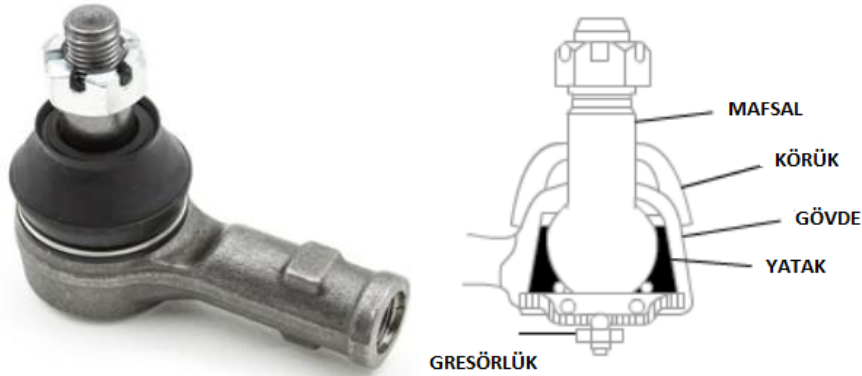


Şekil 5.8. Farklı Tasarımlarda Rotil Çeşitleri [37]

5.3.2. Rot başı

Sürücünün direksiyon verdiği hareket, rot mili vasıtasıyla rot başlarına iletilir. Rot başları da bu hareketi tekerleklere ileterek, tekerleklerin dikey bir ekseninde hareket

etmesini sağlar. Rot başları, genel olarak rotiller ile benzer bir tasarım yapısına sahiptir. Rot başı yapısı, çelik bir gövde, gövde içerisine yerleştirilmiş plastik veya çelik bir yatak, yatak içerisinde montajlanan ve yağlı bir ortamda çalışan çelik mafsal, gövdenin altında bir alt kapak, gövde içerisindeki yağlı ortamı su, kir, toz gibi dış etkenlerde koruyan bir körük, körüğün sızdırmazlığına destek sağlayan ve kapatan segmanlardan oluşur. Şekil 5.9.'da rot başı ve rot başı tasarım yapısı gösterilmiştir. Ayrıca tasarıma bağlı olarak, gövdeye yağ takviyesi yapmak amacıyla alt kapak kısmında gresörlükte bulunabilir. Rot başları direksiyon ve süspansiyon sisteminde rot milleri ile montajlı parçalardır. Rot başlarının gövdesi içindeki yataklarda aşınma meydana gelmesi halinde, araç seyir halindeyken düzensiz hareket etmesi gibi kusurlara neden olmaktadır. Rot başlarının çelik gövdesi içerisinde yatağa montajlı halde ve yağlı ortamda çalışan mafsalın yatma açıları, direksiyondan verilen hareketin tekerlere aktarılması açısından yüksek önem arz eder. Ayrıca gövde içerisindeki yağlı ortama su ve toz parçacıkları gibi dış etkenlerin girmesi, mafsalın küre kısmının yağlı ortamdaki yatağa bağlı olmasından dolayı, mafsalın dönme hareketini etkileyecektir. Bu nedenle, üzerindeki körüğün iyi derecede sızdırmazlık sağlaması da önemli bir etkidir [41].



Şekil 5.9. Rot Başı ve Rot Başı Tasarım Yapısı [37]

5.3.3. Rot mili

Rot milleri, direksiyondan gelen hareketi rot başları vasıtasıyla tekerlere aktarılmasını sağlayan, direksiyon ve tekerler arasındaki bir başka aktarma parçalarıdır. Şekil 5.10.'da rotmili örneği gösterilmiştir. Sürüş ve yol koşullarına bağlı olarak, aracın yön hareketlerinde önemli rol oynayan bir direksiyon ve süspansiyon sistemi parçasıdır. Yapısı, genel olarak çelik bir gövde, gövde içerisinde bir yatak, yatak içerisinde yağlı bir ortamda montajlı çelik bir mafsalından oluşmaktadır. Rot millerinin yapı tasarımı

araç marka modellerine göre değişik gösterebilir. Yapısında montajlı halde bulunan mafsal, yön hareketinin tekerleklere kontrollü bir şekilde aktarılmasını sağlar. Direksiyon ve süspansiyon sistemi içerisinde rot başları ile entegre halde çalışmaktadır [41].



Şekil 5.10. Rot Mili [37]

5.3.4. Z-Rot (denge çubuğu)

Z-rot, salınım çubuğu, viraj demiri veya dengeleyici bağlantı olarak da bilinen bir bağlantı dengeleyicidir. Araçların sol ve sağ tekerleklerini kısa bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlayan direksiyon ve süspansiyon sistemi elemanıdır. Araç viraj alırken, gövdenin yuvarlanmasını azaltır, çukurlardan ve engebeli yol yüzeylerinden gelen şokları emer. Bu nedenle güvenli ve konforlu bir sürüş sağlayan önemli bir parçadır. Sürüş esnasında, özellikle çukur ve engebeli yol koşullarında yüzeyden gelen etkileri sönmeler ve sürüş konforunu artırır. Aracın dönme hareketi esnasında, süspansiyon sistem elemanları ile birlikte dengelemeyi sağlayarak, savrulmayı önler, dengeleyici görevi görür. Ayrıca tekerlek kontrolünü artırır ve buna bağlı olarak sürüş konforunu iyileştirir. Şekil 5.11’de z-rot (denge çubuğu) genel görüntüsü gösterilmiştir [41].



Şekil 5.11. Z-Rot (Denge Çubuğu) [37]

5.3.5. Salıncak kolu

Salıncak kolları ya da bir diğerk adıyla süspansiyon kolları, şaseyi ve tekerleği taşıyan süspansiyonu birbirine bağlayan süspansiyon sisteminin en önemli bağlantı parçalarıdır. Şekil 5.12.'de salıncak kolunun genel görüntüsü gösterilmiştir. Normalde kauçuk bir burç olan tek bir pivot ile bağlanan salıncak kolu, iç montajdan radyal mesafeyi korurken dıştan ise konumunu süspansiyon sistemi yapısına göre ayarlayabilir. Süspansiyon sisteminde aşağı ve yukarı yönde hareketlere izin verirken, dışarıdan gelen diğerk eksendeki hareketleri ise sınırlamaktadır. Tekerleklerin düzgün konumda tutulmasını sağlayan en kritik direksiyon ve süspansiyon sistemi parçalarıdır. Araçların ve süspansiyon sistemlerinin dinamik tasarımlarına göre araç marka modellerinde farklılık gösteren tasarım yapılarına sahiptir. Süspansiyon sistemindeki temel görevleri; tekerlekleri araç şasesine bağlamak, tekerlerin dönmesini ve aşağı yukarı hareket etmesini sağlamak, tekerlerin kontrolünü ve stabilizasyonunu sağlamaktır. Araçlara sağladığı avantajları ise; direksiyon simidinde titreşimi azaltmak, gürültü ve kontrolsüz hareketleri azaltmak, yol temasını arttırmak ve sürüş konforunu iyileştirmektir [40].



Şekil 5.12. Salıncak Kolu [37]

5.3.6. Burç

Titreşimleri ve yapıdan kaynaklanan gürültüyü azaltmak için tasarlanan burçlar, modern araçların direksiyon ve süspansiyon kurulumunda önemli bir rol oynar. İyi sönümleme özellikleri ve mükemmel yük taşıma yetenekleri sayesinde, burçlar istenmeyen titreşimleri ve sesi emerek konforlu ve sessiz bir sürüş sağlarken aynı

zamanda araç stabilitesini ve güvenliğini artırır. Burçlar, araçların kullanım ömrü boyunca günden güne yüksek dinamik streslere maruz kalır. Genel olarak çelik veya alüminyum borulardan, bu borular içinde veya üstünde dolgulanmış kauçuk malzemelerden üretilirler. Burçlar, çelik ve kauçuğun hassas miktarlarını dikkatli bir şekilde dengeleyerek, süspansiyon sistemi yapısına ve tasarımına göre uyarlanmış optimum güç, esneklik ve gürültü azaltma kombinasyonu sağlar. Bu nedenle, burçların salıncak kollarına bağlantıları ve kauçuğunun kalitesi ile Shore sertlik değerleri kritik derecede önemlidir. Şekil 5.13.'te burç ve salıncak kolu üzerinde bağlantısı gösterilmiştir [40].



Şekil 5.13. Burç ve Salıncak Kolu Üzerinde Bağlantısı [37]

5.3.7. Çeki kolu

Çeki kolları, genellikle ağır ticari araçlarda kullanılan ve şaseyi aracın aksına bağlayan bağlantı parçalarıdır. Şekil 5.14.'te çeki kolu genel görüntüsü gösterilmektedir. Aracın hareketi esnasında yol koşullarından gelen ve aks gövdelerine taşınan kontrolsüz hareketlerin bir kısmı tekerlekler tarafından sönmülürken, bir kısmı da tekerlekleri aşarak aksa bağlı parçalara ulaşır. Araç şasesi ve akslar arasına bağlanan süspansiyon sistemindeki çeki kolları, bu kontrolsüz hareketleri sönmüleme görevi görür. Yol koşullarından gelen bu titreşim ve düzensiz hareketler, yolcularda sürüş konforu ve güvenliği açısından istenmeyen bir durumdur. Bu noktada çeki kolları bu kontrolsüz hareketleri sönmüleyerek, salınım hareketlerine dönüştürmektedir. Bir diğer görevi ise, aracın motordan gelen çekiş gücü ve döndürme kuvvetini, direksiyon ve süspansiyon sisteminin diğer aktarma organları ile kombine şekilde tekerleklerle iletmektedir. Sürüş esnasında, özellikle virajlarda meydana gelen yanal kuvvetler çeki kolu vasıtasıyla taşıt şase gövdesine aktarılır [36].



Şekil 5.14. Ağır Ticari Araçlarda Kullanılan Çeki Kolu [37]

5.3.8. Rot kolu

Rot kolları, ticari araçlarda direksiyon sisteminin süspansiyon sistemi ile bağlantısında araçla birlikte yönelmesini sağlar. Yapısı genellikle boru gövde ve iki ucunda birer rot başı şeklindedir. Bağlantıların ve çubukların uzunluğu, optimize edilmiş bir tekerlek hizalaması gerçekleştirmek için ayarlanabilir şekildedir. Ticari araçların genel süspansiyon yapısında rot kolları, direksiyon dişlisini ve pitman kolunu araç tekerleğinde birbirine bağlar [36]. Şekil 5.15.'te farklı bağlantı çeşitlerine göre rot kolu örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Farklı Bağlantı Çeşitlerine Göre Rot Kolu Örnekleri [37]

5.3.9. Pitman kolu

Pitman kolu, konvansiyonel tipteki direksiyon ve süspansiyon sistemlerinde bulunmaktadır. Arkadan çekişli tüm hafif ticari araçların direksiyon ve süspansiyon sisteminde pitman kolu kullanılmaktadır. Mafsal desteği ile direksiyon dişlisini ve monte edildiği yuvayı birbirine bağlamaktadır. Bağlandığı alt koruyucu ve mafsal,

körük ile üzerine örtülüdür. Bu koruyucu körük, vida dişli tasarımı bulunan mafsala ve bağlandığı yuvaya dış etkenler ile istenemeyen toz ve su girmesini önleme görevi görür. Mafsalın uç kısmı, direksiyon sisteminde denge koluna montajlanır. Bu sayede, sürücünün verdiği dönme hareketi direksiyon dişlisine aktarılır ve aynı doğrultuda dönmesi sağlanır. Şekil 5.16.'da pitman kolu örneği gösterilmektedir. Direksiyon ve süspansiyon sisteminde bu parçanın önemi, direksiyon dişlisine bağlı olarak levye görevi görmesidir. Direksiyonun dişlisinden gelen tork, pitman kolu vasıtasıyla mekanik bir kuvvete dönüştürülmüş olur [36].



Şekil 5.16. Pitman Kolu [37]

5.3.10. İdler kolu

İdler kolu, konvansiyonel tipteki direksiyon ve süspansiyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Arkadan çekişli tüm hafif ticari araçların direksiyon ve süspansiyon sisteminde idler kolu bulunmaktadır. Temel olarak idler kolu, merkezleme yapma görevi gören, direksiyon sistemine bağlanan destek elemanıdır. Yapısında braket ve bağlantılı bir kol bulunmaktadır. Kol kısmı, direksiyon sisteminde denge çubuğuna montajlanır. Araç tasarımlarına göre direksiyon ve süspansiyon sistemlerinde farklı adetlerde bulunabilirler. İdler kolları, diğer taraftan pitman kolları ile montajlıdır ve tekerleklerin direksiyon sistemi bağlantısını desteklerler. Pitman kollarında olduğu gibi, sistem üzerinde direksiyon dişlisinin verdiği hareket ile aynı yönde dönerek çalışırlar [36]. Şekil 5.17.'de idler kolu örneği gösterilmektedir.



Şekil 5.17. İdler Kolu [37]

6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM

6.1. Amaç

Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş. bünyesinde üretimi yapılan direksiyon ve süspansiyon sistemi çelik parçalarından rotül ve pitman kolu üretiminde C45 (SAE 1045) ve 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çelikler kullanılmaktadır. Bu çelik malzemeler, dövme ile şekillendirilmekte, dövme sonrası oda sıcaklığına soğutulmakta ardından mekanik özellikleri iyileştirmek amacı ile sertleştirme ve temperleme ısıl işlemine tabi tutulmaktadır. Bu çalışmada, aynı kalite çelikler dövme sonrası oda sıcaklığına soğutulmadan dövme ısısını kullanarak sertleştirilmiş ve ardından temperlenmiştir. Temperleme sonrası mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenerek uygulanabilirliği araştırılmıştır. Dövme ısısının kullanımı ile zaman ve enerji tasarrufu sağlamak amaçlanmıştır.

6.2. Deneysel Çalışmada İzlenen Yol

Dövme yöntemi ile 30 mm çapta C45 (SAE 1045) kalite çelikten üretilen rotül parçası ve 60 mm çapta 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çelikten üretilen pitman kolu parçalara iki farklı serleştirme işlemi uygulanarak mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çeliklere ait kimyasal bileşim Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Bileşimi, %

Malzeme	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
C45	0,45	0,72	0,009	0,028	0,24	0,01	0,04	0,001
42CrMo4	0,41	0,79	0,011	0,005	0,23	0,05	1,04	0,19

Dövme sıcaklığı C45 numune için 1100-1250°C, 42CrMo4 için 1100-1200°C aralığındadır. Dövme sonrası makrogörüntü ve uygulanan ısıl işlem Şekil 1 ve 2’de verilmiştir.

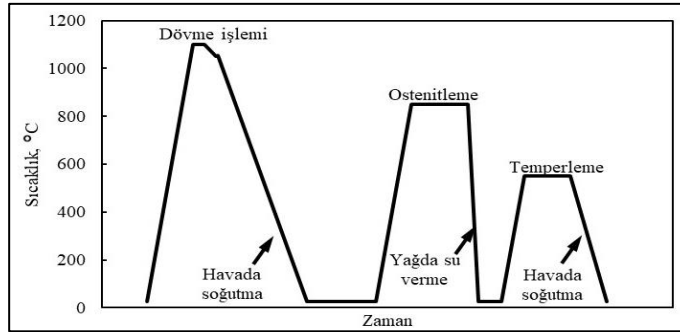
Dövülmüş parçalara iki farklı ısıl işlem uygulanmıştır (Şekil 6.2).

1. Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş.'de ve geleneksel olarak uygulanan ısıl işlem: Sıcak dövme sonrası parçalar havada oda sıcaklığına soğutulmuş, ardından 840-870°C'te inç başına 1 saat ostenitlenerek yağda su verilmiş, C45 çeliği 525-555°C, 42CrMo4 ise 605-640°C'te temperlenip havada soğutulmuşlardır.

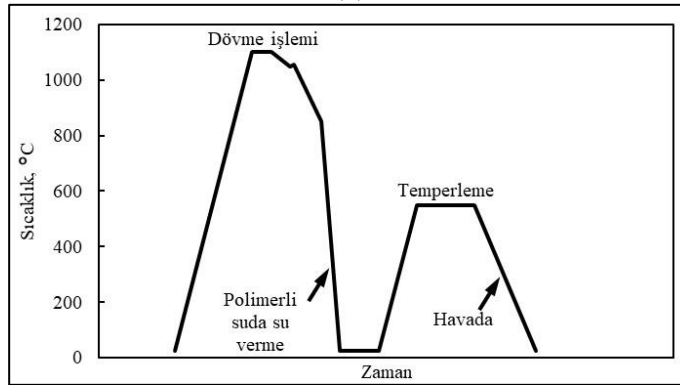
2. Alternatif ısıl işlem: Sıcak dövme sonrası havada soğumaya bırakılan çelik parçaların sıcaklığı 850-880°C'e düştüğünde bekletmeden polimerli suda soğutulmuş ve ardından birinci ısıl işlemde uygulanan sıcaklıklarda temperlenmiştir.



Şekil 6.1. Sıcak Dövme Sonrası a) Rotil (C45) b) Pitman Kolu (42CrMo4)



(a)



(b)

Şekil 6.2. a) Ditaş Firmasında Uygulanan b) Dövme Isısını Kullanarak Gerçekleştirilen Sertleştirme Isıl İşlemi

6.3. Karakterizasyon

6.3.1. Mikroyapı

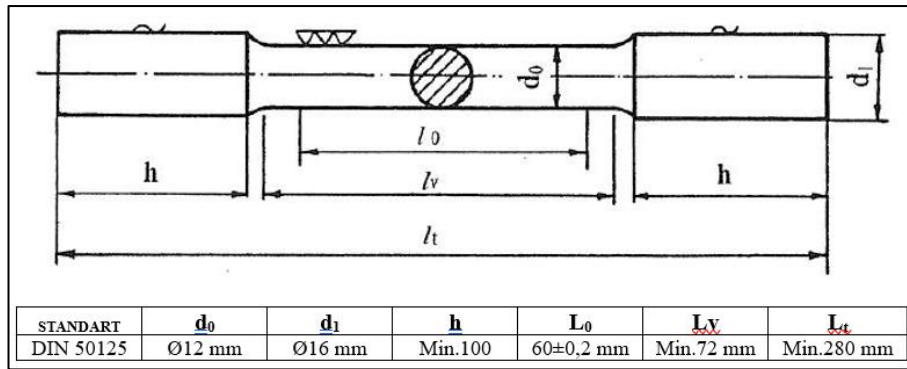
Sıcak dövme ile şekillendirilen rotül ve pitman kolu sertleştirme ve temperleme sonrası kesilerek sıcak bakalite alınmış 60, 180, 320, 600, 800 ve 1000 grit zımparalar ile zımparalanmış, 1 mikronluk elmas pasta ile parlatılarak %3 Nital (%97 Etil Alkol+%3 HNO₃) çözeltisi ile dağlanmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler ZEISS marka optik mikroskop ile incelenmiştir.

6.3.2. Sertlik

Su verme ve temperleme sonrası sertlik değerleri LEICA marka mikrosertlik cihazına Vickers piramit uç kullanılarak 300 gram yük altında 15 saniye süre ile belirlenmiştir. Verilen herbir sertlik değeri 6 ölçümün ortalamasıdır.

6.3.3. Çekme testi

Çekme deneyleri, Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş. kalite laboratuvarı bünyesindeki Shimadzu marka çekme test cihazında DIN 50125 standartına uygun olarak yapılmıştır. Çekme testi için hazırlanan çubuk boyutları Şekil 6.3 ve hazırlanan test çubuğu makro görüntüsü Şekil 6.4' de verilmiştir.



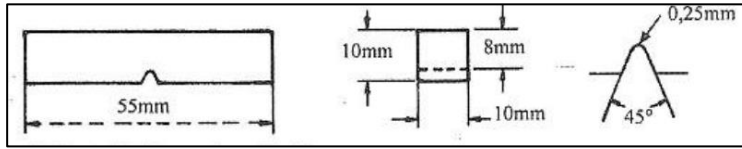
Şekil 6.3. Çekme Testi İçin Çubuk Boyutu



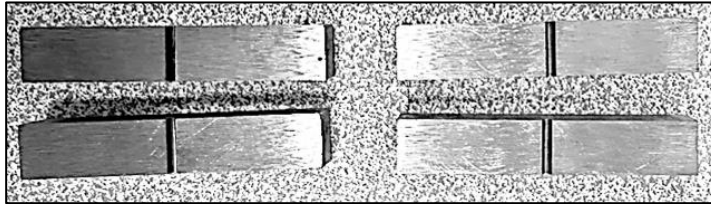
Şekil 6.4. Çekme Testi İçin Hazırlanan Çubuğun Makro Görüntüsü

6.3.4. Çentik darbe testi

Çentik darbe testleri, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metal Laboratuvarı bünyesinde bulunan Utest marka darbe test cihazı ile yapılmıştır. Çentik darbe cihazının sarkaç kütlesi 16,137 kg'dır. Sarkaç ağırlık merkezinin dönme noktasına uzaklığı 0,507 m, tepe açısı 151° 'dir. Makinanın enerji kapasitesi 222 J'dur. Cihaz açısı, kontrol ünitesi üzerinde sıfırlandıktan sonra, çekiç 151° açığa çıkarılarak serbest bırakılır. Böylece, çentik içeren numunelerin darbe etkisiyle dinamik bir yük altında kırılması için gereken enerji (J) tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe enerjisini göstermektedir. Darbe testi için V çentikli Charpy darbe testi numuneleri hazırlanmıştır, numune boyutları Şekil 6.5'da, hazırlanan darbe testi numunesi makro görüntüsü Şekil 6.6'da verilmiştir. Her bir ısıl işlem için 2 adet çentik darbe test numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 6.5. V-Çentikli Charpy Darbe Testi Numune Boyutu



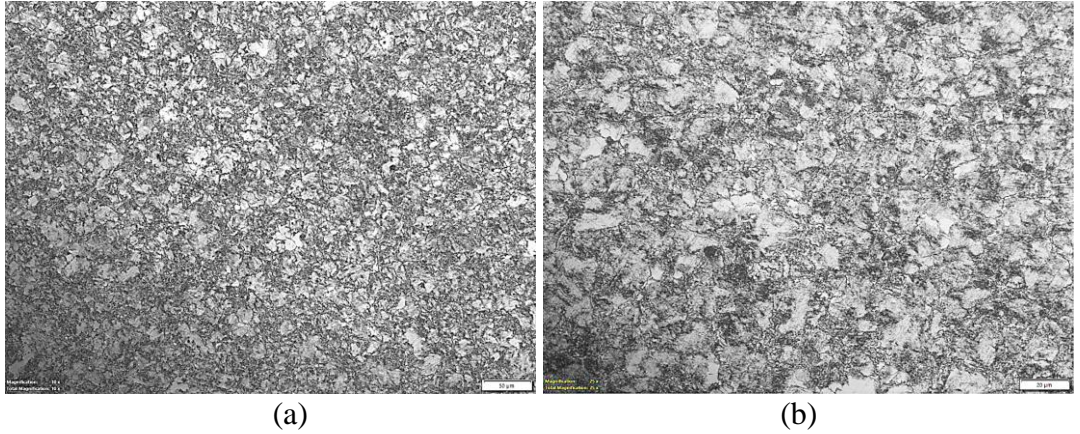
Şekil 6.6. Darbe Testi İçin Hazırlanan Numune Makro Görüntüsü

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

7.1. Mikroyapı

Sıcak dövme sonrası geleneksel sertleştirme işlemi uygulanan (dövme sonrası oda sıcaklığına soğutulan ve ardından ostenit sıcaklıkta inç başına 1 saat bekletilip yağda su verilen) C45 ve 42CrMo4 çeliğine ait optik mikroyapı resimleri Şekil 7.1 ve 7.3’de alternatif ısıl işlem ile sertleştirme sonrası (dövme sonrası sıcaklığı ostenit sıcaklığına düşünce bekletmeden polimerli suda su verilen) ise Şekil 7.2 ve 7.4’de verilmiştir. Her iki yöntem ile su verme sonrası martensit yapısı elde edilmiştir. C45 çeliğinin mikroyapısında her iki sertleştirme ısıl işlemi sonrası martensit yanında belirgin ferrit adacıkları mevcuttur. 42CrMo4 çeliğçialaşım elemanı içeriği bakımından daha zengin olduğu için daha homojen dağılımlı martensit yapısı sergilemiştir.

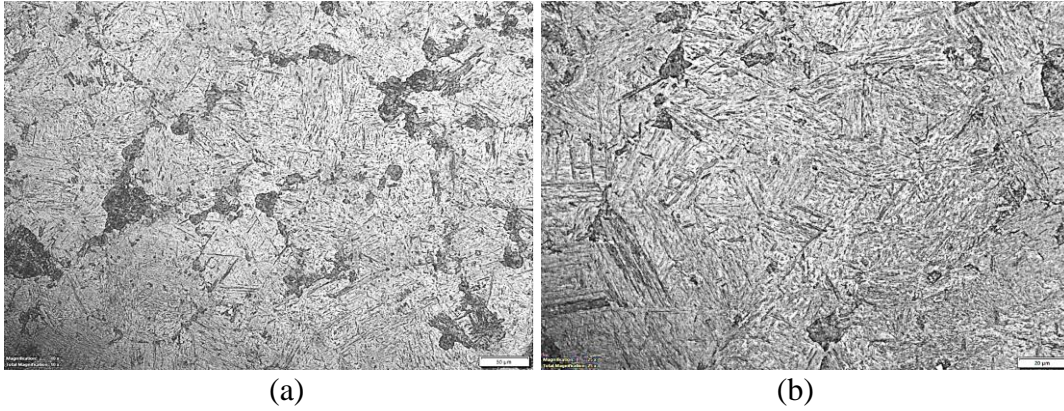
Her iki çelikte de dövme ısısını kullanarak enerji ve zaman tasaruufu sağlamak adına uygulanan alternatif sertleştirme ısıl işemi sonrası elde edilen tane yapısı Ditaş firmasında uygulanan geleneksel sertleştirme ısıl işlemi sonrası elde edilen tane yapısına göre oldukça kabadır.



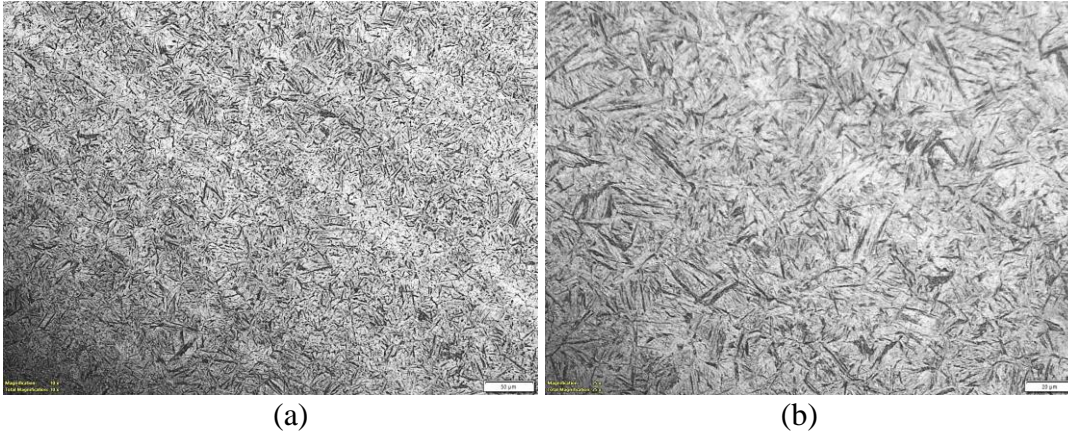
Şekil 7.1. Geleneksel Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı a) 200X, b) 500X

Geleneksel yöntemde dövme sonrası oda sıcaklığına soğuma sırasında sıcaklık, A3 sıcaklığına düştüğünde ostenit tane sınırlarında ferrit fazı çekirdekleşmekte doğal

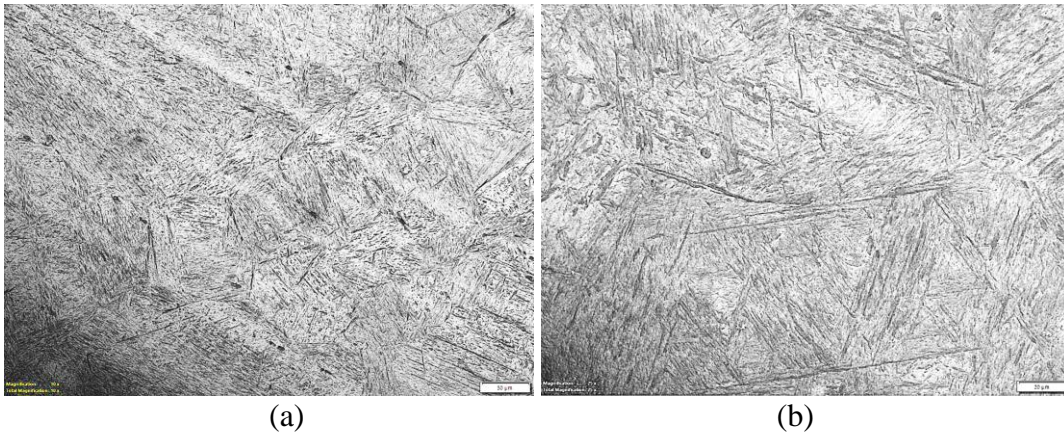
olarak tane yapısı alternatif ısıl işlemde elde edilen tane yapısından daha küçük olmaktadır. Alternatif yöntemde yüksek sıcaklıkta dövme sonrası sıcaklık $A3+50^{\circ}\text{C}$ 'e düşer düşmez su verilmiştir. Dolayısı ile daha kaba bir ostenit tane yapısı hakimdir.



Şekil 7.2. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı, a) 200X, b) 500X

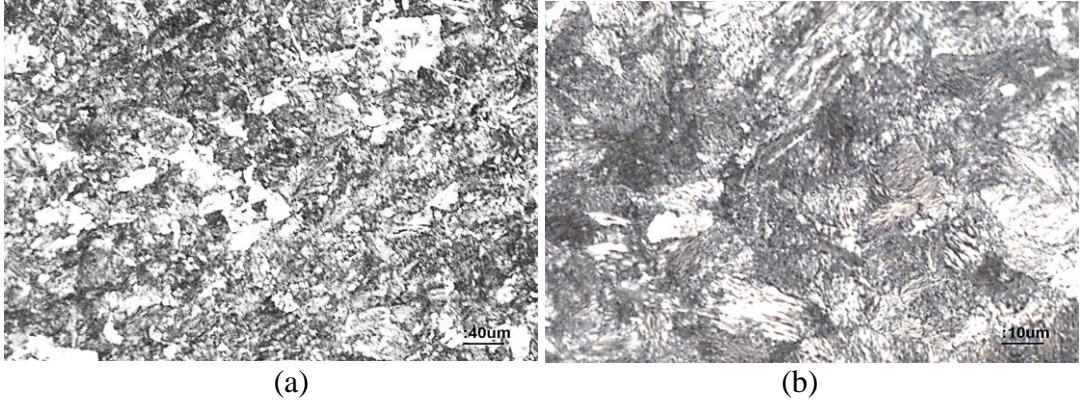


Şekil 7.3. Geleneksel Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı a) 200X, b) 500X

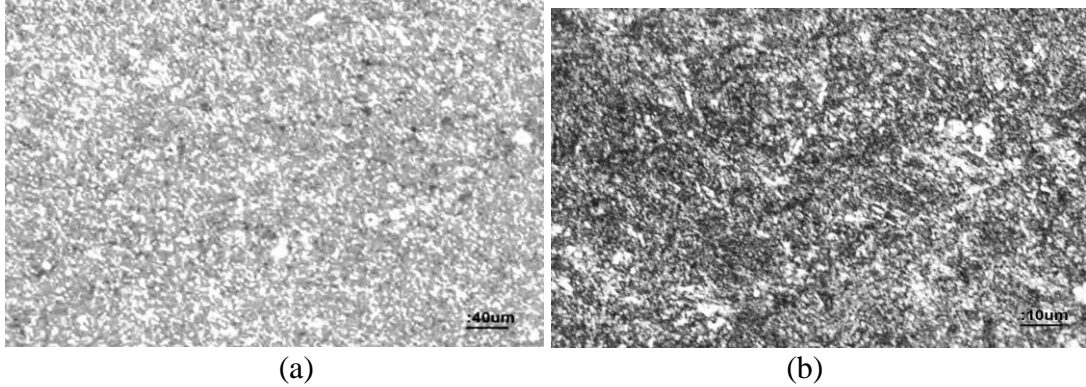


Şekil 7.4. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı, a) 200X, b) 500X

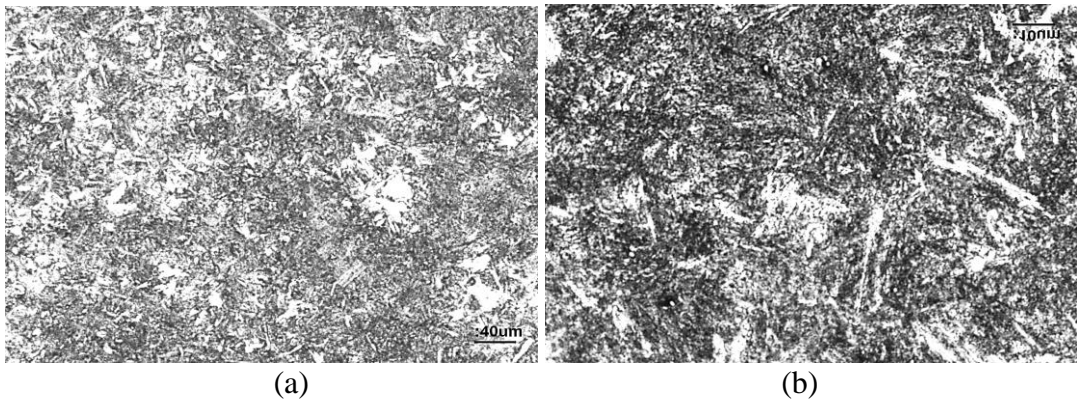
İki farklı yolla su verme sonrası aynı sıcaklıkta temperlenen çeliklere ait mikroyapı resimleri Şekil 7.5-7.8'de verilmiştir. Temperlenmiş martensit yapısı veren mikroyapılarda sertleştirme sonrasında olduğu gibi C45 çeliğinde yine belirgin ferrit adacıkları gözlenmektedir.



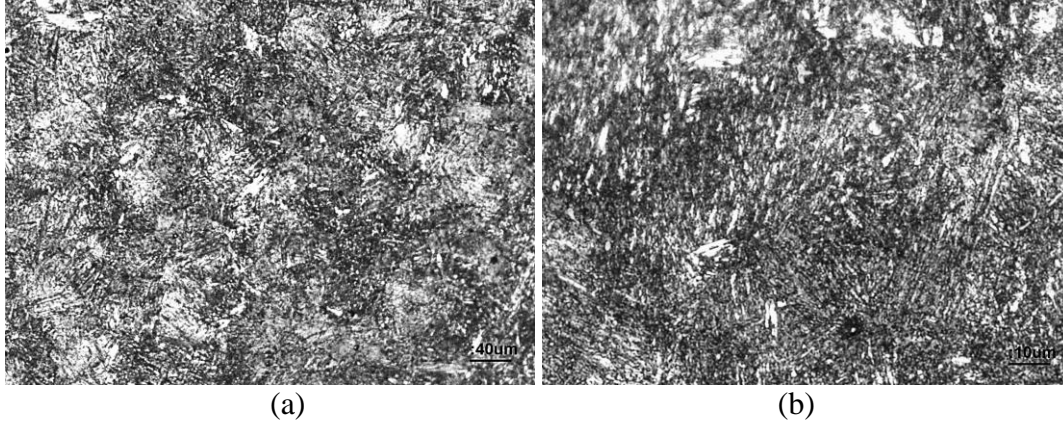
Şekil 7.5. Geleneksel Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı a) 100X, b) 500X



Şekil 7.6. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı, a) 100X, b) 500X



Şekil 7.7. Geleneksel Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı a) 100X, b) 500X



Şekil 7.8. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Optik Mikroyapı, a) 100X, b) 500X

7.2. Sertlik

Tablo 7.1’de su verme ve Tablo 7.2’de temperleme sonrası sertlik değerleri verilmektedir. Herbir sertlik değeri 6 ölçümün ortalamasıdır. Ölçülen sertlik değerleri her iki sertleştirme yöntemi sonrası martensit yapının oluşturulabildiğini göstermektedir. Alternatif yöntem ile sertleştirme sonrası sertlik değerleri geleneksel sertleştirmeye oranla bir miktar yüksektir. Tane yapısının daha kaba olmasına rağmen sertlik değerinin daha yüksek olmasının muhtemel nedeni su verme ortamı farklılığıdır. Polimerli suda su verme ortamının gücü yağ ortamına göre daha yüksektir [43].

Tablo 7.1. Su Verme Sonrası Sertlik, HV0,3

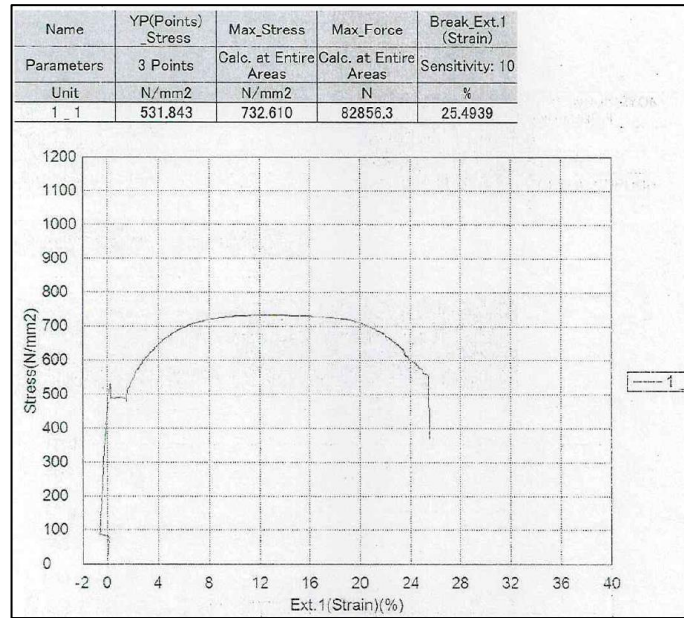
Malzeme	Isıl İşlem	Sertlik
C45	Geleneksel	600
	Alternatif	620
42CrMo4	Geleneksel	640
	Alternatif	660

Tablo 7.2. Su Verme+Temperleme Sonrası Sertlik, HV0,3

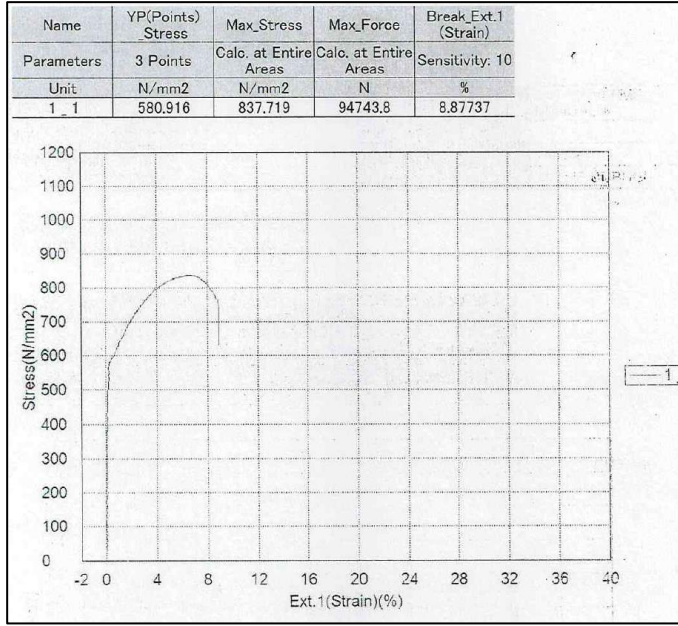
Malzeme	Isıl İşlem	Sertlik
C45	Geleneksel	280
	Alternatif	280
42CrMo4	Geleneksel	305
	Alternatif	310

7.3. Çekme Testi

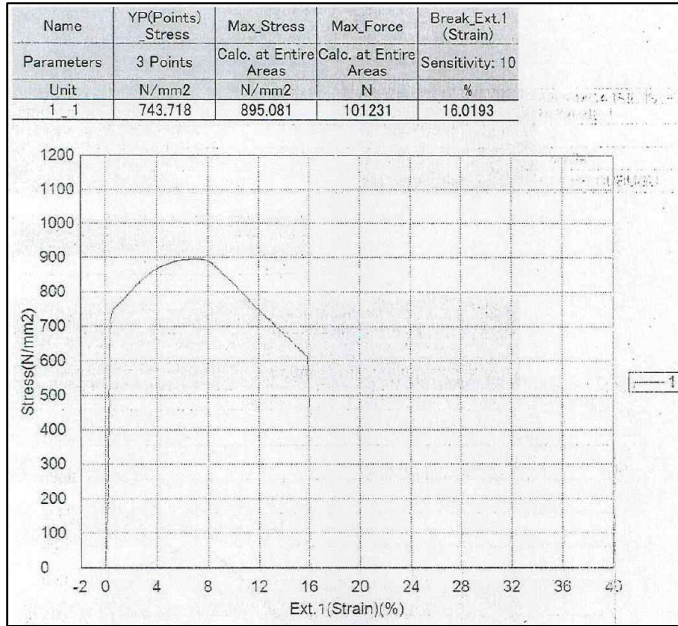
Üretilen C45 kalite rotül parçası ve 42CrMo4 kalite pitman kolu parçaları kesit ve boyutsal olarak küçük parçalar olduğundan çekme testi numunesi hazırlama için uygun değildir. Bu nedenle, C45 ve 42CrMo4 çelikleri için dolu çubuk malzemeler alınarak aynı ısıl işlem koşullarından (östenitleme sıcaklığında su verme ve temperleme, doğrudan su verme-temperleme) geçirilmiş ve çekme testi numuneleri hazırlanmıştır. 2 mm/dk çekme hızında uygulanan çekme testi sonrası (Şekil 7.9-7.12) belirlenen akma ve çekme mukavemeti ile % uzama değerleri Tablo.7.2’de verilmiştir. Her iki çelik malzemenin çekme testi sonuçları alternatif yöntemle sertleştirilip temperlenen parçaların daha yüksek akma ve çekme mukavemeti ile daha düşük süneklığe sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuç sertlik değerleri ile de uyumludur.



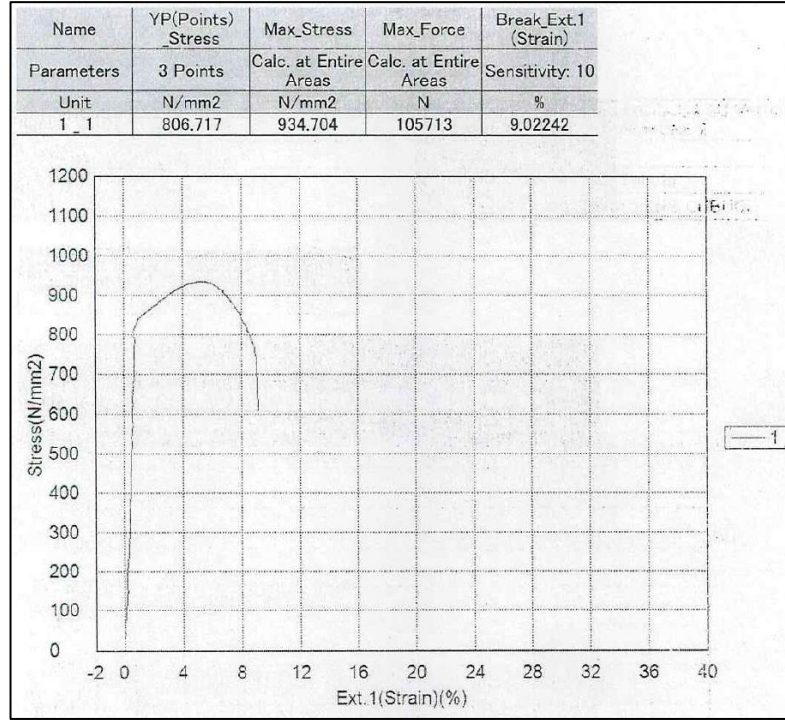
Şekil 7.9. Geleneksel Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulan ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Çekme Testi Grafığı



Şekil 7.10. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) C45 Çeliğine Ait Çekme Testi Grafiği



Şekil 7.11. Geleneksel Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Oda Sıcaklığına Soğutulmuş ve Ardından Ostenit Sıcaklıkta İnç Başına 1 Saat Bekletilip Yağda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Çekme Testi Grafiği



Şekil 7.12. Alternatif Isıl İşlem İle Sertleştirme+Temperleme Sonrası (Dövme Sonrası Sıcaklığı Ostenit Sıcaklığına Düşünce Bekletmeden Polimerli Suda Su Verilen) 42CrMo4 Çeliğine Ait Çekme Testi Grafiği

Tablo 7.3. Çekme Testi Sonuçları

Malzeme	Isıl İşlem	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)
C45	Geleneksel	531	732	25,4
C45	Alternatif	580	837	8,8
42CrMo4	Geleneksel	743	895	16
42CrMo4	Alternatif	806	934	9

7.4. Darbe Testi

Su verilip temperlenmiş numunelere ait Charpy darbe testi sonuçları çekme testini doğrular nitelikte alternatif yöntemle ısıl işleme tabi tutulan parçalarda daha düşüktür (Tablo 7.4, her bir değer iki ölçüm ortalamasıdır). Alternatif yöntemle ısıl işleme tabi tutulan çelikler daha kaba taneli bir mikro yapıya sahip dolayısı ile darbe enerjisi değerleri de daha düşüktür [43].

Tablo 7.4. Charpy Darbe Testi İle Belirlenen Darbe Enerjisi, J

Malzeme	Isıl İşlem	Darbe enerjisi
C45	Geleneksel	61
	Alternatif	13
42CrMo4	Geleneksel	82
	Alternatif	49

8. GENEL SONUÇLAR

C45 ve 42CrMo4 çelik çubuktan dövme ile üretilen çelik parçalara iki farklı sertleştirme ısıl işlem prosesi uygulanmıştır. Birincisi dövme işlemi sonrası parçalar geleneksel olarak havada oda sıcaklığına soğumaya bırakılmış ardından su verme+temperleme ısıl işlemi yapılmıştır. Dövme ısısından yararlanan alternatif ikinci sertleştirme ısıl işleminde dövme sıcaklığından havada soğumaya bırakılan parçalar ostenitleme sıcaklığına eriştiğinde polimerli su içerisinde soğutulmuş (su verilmiş) ardından birinci ısıl işlemde uygulanan temperleme ısıl işlemine maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Alternatif ısıl işlem ile su verme sonrası C45 için 620 HV0,3, 42 CrMo4 için 660 HV0,3 geleneksel su verme sonrası C45 için 600 HV0,3, 42 CrMo4 için 640 HV0,3 değerindedir. Bu fark su verme ortamları ile ilişkili olabilir. Polimerli suda soğutma gücü yağda soğutma gücüne göre daha yüksektir.
2. Çekme testi sonrası da sertlikle benzer olarak akma ve çekme mukavemeti alternatif ısıl işlem ile su verme + temperleme uygulanan parçalarda belirgin miktarda daha yüksektir. Buna karşılık süneklik ve tokluk değerleri düşüktür, özellikle C45 çeliğinde bu düşüş çok daha fazladır. Bunun nedeni geleneksel ısıl işlem prosesi ile sertleştirilip temperlenen parçanın tane boyutuna kıyasla oldukça iri olan tane yapısıdır.
3. Darbe testi sonrası alternatif ısıl işlem ile sertleştirilip temperlenen parçaların çekme testinde olduğu gibi darbe enerjisi değerleri de daha düşüktür.

KAYNAKLAR

- [1] Srba M., Jasmina P. (2022). The Effect Of Different Heat Treatments On The Mechanical Properties Of The Steel Forgings, International Scientific Journal "Machines Technologies. Materials", 1313-0226
- [2] N. Sinan Köksal, Mehmet Uzkut, B. Sadık Ünlü, (2004)'Farklı Karbon İçerikli Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşlemlerle Değişimi'', DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 6 Sayı: 2 S. 95-100.
- [3] Wang, X. D., Guo, Z. H., Rong, Y. H. (2011). Mechanism Explo-Ration Of An Ultrahigh Strength Steel By Quenching-Partitio-Ning-Tempering Process. Materials Science and Enginee-ring: A 529: 35-40.
- [4] M. Kam ve H. Saruhan, (2016) "Derin Kriyojenik İşlemin Farklı Bekletme Sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi," Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, c. 6, s. 3, ss. 553-564.
- [5] B. L. Bramfitt, A.O. Bencoter, (2002) "Metallographer's Guide: Practice and Procedures for Irons and Steels" , www.asminternational.org
- [6] Karagöz, S. (Ed.), (2008) Malzeme Bilgisi, Aydın: AYMYO Yayınları Ders Notu, 28, 31, 32, 47, 48, 56-57, 59-61, 69.
- [7] ASM, (1973) "Metals Handbook 8th Edition", American Society for Metals, Vol 7, 52.
- [8] Has Çelik Teknik Katalog, www.hascelik.com
- [9] A. Aytaç, M. Işık, B. Çanakçı, T. Özdemir, K. Aztekin, H. İpek, (2018) "AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi" Savunma Bilimleri Dergisi, 139 – 165
- [10] Ö. Koçak, (2003) "Analysis of Formability of Metals", MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [11] İ. Yükler, A.H.Üçışık, R.A. Safoğlu, (1981) "Çeliklerde Dual Faz Yapısı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi", www.acikerisim.sakarya.edu.tr
- [12] İ.Uygur, (2007), "Fe-Cu-C Çeliklerine Mangan İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi", Jounal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Volume:22 Issue: 3,0
- [13] Tavares, S.S.M, Pedroza, P.D, Teodósio, J.R ve Gurova, T. (1999). Mechanical properties of a quenched and tempered dual phase steel, Scripta Materialia, 40 (8), 887–892.
- [14] F. Han, D. W. Suh, Z.Wang, D.L. Lee, S. Kim, (2008), "Effect of Molybdenum and Chromium on Hardenability of Low-Carbon Boron-Added Steels", Metals and Materials International, 14, pages 667–672

- [15] Magnabosco, I., Ferro, P., Tiziani A. and Bonollo, F., (2006) "Induction heat treatment of a ISO C45 steel bar: Experimental and numerical analysis", Computational Materials Science, Vol 35 (2), 98
- [16] Köksal, N. S., Uzkut, M., Ünlü, B. S. (2004). Farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıt işlemlerle değişimi, Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (2), 95-100.
- [17] TS EN 10277-2:2008 Standardı
- [18] I. Magnabosco *,P. Ferro,A. Tiziani,F. Bonollo; (2006) "Induction heat treatment of a ISO C45 steel bar: Experimental and numerical analysis" Computational Materials Science 35, 98–106
- [19] F. Öztürk, M. Demirezen ve M. Bayrak, (2006) "DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 Çeliklerde Isıl İşlemin Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması" Teknoloji, c. 9, s. 2, ss. 145-152.
- [20] M. Demirezen, M.Bayrak, F.Öztük, (2006), "DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 "Çeliklerde Isıl İşlemin Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması", TEKNOLOJİ, Cilt 9, Sayı 2, 145-152
- [21] F. Öztürk, M. Demirezen ve M. Bayrak, (2006) "DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 Çeliklerde Isıl İşlemin Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması" Teknoloji, c. 9, s. 2, ss. 145-152.
- [22] TS EN 10250-1:2022 Standardı
- [23] Demirci, H., (2004) Mühendislik Malzemeleri Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemleri, İstanbul: Alfa Akademi, 25, 74-75.
- [24] Fedoseeva, A., Nikitin, I., Dudova, N. & Kaibyshev, R. (2017). "Effect of normalizing and tempering on structure and mechanical properties of advanced martensitic 10% Cr–3% Co–0.2% Re steel". In AIP Conference Proceedings (Vol. 1909, No. 1, p. 020049)
- [25] H. Güler ve R. Özcan, (2014) "Effect of Quenching Process on Mechanical Properties of High Carbon Steels," Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, vol. 19, no. 2, pp. 77-83.
- [26] N. Köksal, M. Uzkut, S. Ünlü, (2004), "Farklı Karbon İçerikli Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşlemlerle Değişimi" Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Volume: 6 Issue: 2, 95 – 100
- [27] Gündüz, S., (2013) Metalurjide Faz Diyagramları, Ankara: Seçkin Yayıncılık, 5,17.
- [28] Schneider, M. J. and Chatterjee, M. S.,(2013)"Introduction to Surface Hardening of Steels", (Eds: J. Dossett and G.E. Totten), ASM Handbook, Volume 4A, Steel Heat Treating Fundamentals and Processes, ASM International, 389-397.
- [29] Z. Gronostajski, M. Hawryluk, P. Jabłoński, M. Zwierzchowski, A. Barelkowski, P. Wıdomski (2020). The Effect of Heat Treatment of Forgings Directly From The Forging Temperature On Their Properties, Arch. Metall. Mater. 65, 2, 685-696

- [30] Bagliani, E. P., Santofimia, M. J., Zhao, L., Sietsma, J., Anelli, E. (2013) Microstructure, tensile and toughness properties after quenching and partitioning treatments of a medium-carbon steel. *Materials Science and Engineering: A* 559: 486-495.
- [31] A.H. Meysami, R. Ghasemzadeh, S.H. Seyedein and M.R. Aboutalebi, (2010) "An Investigation On The Microstructure And Mechanical Properties Of Direct-Quenched And Tempered AISI 4140 Steel," *Materials & Design*, vol. 31, no. 3, pp. 1570-1575.
- [32] Prof. Dr. Sakin Zeytin, (2013) Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Isıl İşlem Ders Notları
- [33] Ethem Kesti, (2009) "Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, T. C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [34] U. Çalgülü, M. Aras ve M. Türkmen, (2016) "Temperleme İşleminin Yağda Soğutulan Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerine Etkisi" In 4th International Symposium on Innovatite Technologies in Engineering and Science, Alanya, Türkiye, ss. 600-607.
- [35] Tonicello, E., Girodin, D., Sidoroff, C., Fazekas, A. and Perez, M., (2012) "Rolling bearing applications: some trends in materials and heat treatments", *Materials Science and Technology*, Vol 28, 23-26.
- [36] Birch, T., (1998) "Automotive suspension and steering system", CENGAGE Delmar Learning; 3 edition.
- [37] Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş., Ürün Kataloğu, www.ditas.com.tr
- [38] Demirsoy, M., "Motorlu Araçlar, Cilt 2, 3. Baskı", Birsen Yayınevi, İstanbul, 273-329 (2005).
- [39] Eskandari, A., Mirzadeh, O., "Optimization of a McPherson suspension system using the design of experiments method", *SAE Technical Paper Series*, Michigan, 1-8 (2006).
- [40] Halderman, J. D., Mitchell, Jr. C. D., (2004) "Automotive Steering, Suspension and Alignment", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio, 152.
- [41] Emekli, M.E., (2008) "Hafif ticari bir araç için yarı aktif süspansiyon sistemi tasarımı", İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 1-133.
- [42] Zhang, Z., Yu, J., (2008) "Design process of a double wish-bone suspension", *SAE Technical Paper Series*, China, 1-9.
- [43] A.M. Abdel Wahab, E.-G. Mokhtar, A. Mazen, (2014) Effect of heat treatment on the fracture toughness of AISI 4140 Steel, *Minia Journal of Engineering and Technology* 33 215-220.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Güray ÇAKIR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
- **Yükseklisans** : Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2014 yılları arasında Termo Makine San. ve Tic. A.Ş.'de (Danieli) Kalite Uzmanı olarak çalıştı.
- 2014-2015 yılları arasında Ümran Çelik Boru San. ve Tic. A.Ş.'de Kalite Laboratuvar Mühendisi olarak çalıştı.
- 2015-2021 yılları arasında Teknorot Otomotiv Ürünleri San. ve Tic. A.Ş.'de Ar&Ge Yöneticisi olarak çalıştı.
- 2021 yılından bu yana Ditaş Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş.'de Ar&Ge Müdürü olarak çalışmaktadır.
- 2022 yılında fikir sahibi olduğu "Otomotiv Direksiyon ve Süspansiyon Sistemlerinde Sensör ve IoT içeren Elektronik (Akıllı) Rotil Geliştirilmesi" projesi ile Doğan Değer Ödülleri'nde "Yılın En İyi Proje Fikri" ödülünü kazandı.
- 2022 yılında, patent başvurusu yapılan ve buluşçusu olduğu "Otomotiv Direksiyon ve Süspansiyon Sistemlerinde Sensör ve IoT içeren Elektronik (Akıllı) Rotil Geliştirilmesi" projesi, Automechanika Frankfurt Innovation Awards'ta nomine oldu. Proje, aynı zamanda Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı HAMLE programı Dijital Dönüşüm Çağrısı kapsamında yatırım desteği almaya hak kazandı.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Çakır G., İpek, M. 2023. "Dövme Yöntemi ile Üretilen Parçalarda Alternatif Isıl İşlem Uygulamalarının Araştırılması", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi.