

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

**RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN ÇELİK  
PARÇALARDA DÖVME PROSESİNİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Recai GÜLER**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salim ARSLANLAR**

**Mayıs 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN ÇELİK  
PARÇALARDA DÖVME PROSESİNİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Recai GÜLER

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 18.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Salim ASLANLAR  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr.  
Uğur ÖZSARAC  
Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi  
Mehmet EKİCİ  
Üye

## **BEYAN**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Raylı Sistemlerde Kullanılan elik Parçalarda Dövmeye Prosesinin Mekanik Özelliklere Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Salim ASLANLAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Recai GÜLER

24.04.2018

## **TEŐEKKÜRLER**

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ARSLANLAR'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen TÜVASAŞ Kalite ve Standardizasyon Dairesi Laboratuvarında çalışan mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın desteklenmesine olanak sağlayan Adateknik Firması Sahibi Hasan UZEL'e ve Edkosan Çelik Dövme Fabrikasına teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY .....	xii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

## BÖLÜM 2.

LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. Raylı Sistemler.....	5
2.1.1. Raylı sistemlerde kullanılan dövme parçalar.....	5
2.1.1.1. Tekerlek setleri.....	5
2.1.1.2. Cer tertibatı.....	6
2.2. Dövme Teknolojisine Giriş.....	6
2.3. Başlıca Dövme Yöntemleri.....	7
2.3.1. Elde dövme.....	7
2.3.2. Açık kalıpta dövme.....	8
2.3.2.1. Açık kalıpta dövme işleminin uygulandığı durumlar.....	9
2.3.3. Kapalı kalıpta dövme.....	9
2.3.3.1. Kapalı kalıpta dövme yönteminin avantajları.....	10
2.3.4. İzotermal dövme.....	10

2.3.5. Hassas dövme.....	11
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Kullanılan test ve ölçüm cihazları.....	16
3.2.1.1. Istron 300dx çekme test cihazı.....	16
3.2.1.2. Istron sı-1 k3 çentik darbe test cihazı.....	16
3.2.1.3. Qness 750m sertlik ölçme test cihazı.....	17
3.2.1.4. Atm brillant 255 numune kesme cihazı.....	18
3.2.1.5. Black charpy çentik açma cihazı.....	18
3.2.1.6. Tamson tlc 40 numune soğutma cihazı.....	19
3.2.1.7. Specralab m9 spectral analiz test cihazı.....	20
3.2.1.8. Atm s30 zımparalama ve patlatma cihazı.....	20
3.2.1.9. Atm jade 700 düz zımparalama cihazı.....	21
3.2.1.10. Struers prontospress-2 bakalite alma cihazı.....	21
3.2.2. Kullanılan metalografik sarf malzemeleri.....	22
3.3. Deneyler.....	22
3.3.1. Çekme testi.....	22
3.3.2. Çentik darbe testi.....	24
3.3.3. Sertlik testi.....	25
3.3.3.1. Brinell sertlik yöntemi.....	26
3.3.3.2. Rockwell sertlik deneyi.....	27
3.3.3.3. Vickers sertlik deneyi.....	27
3.3.4. Spectral analiz.....	27
3.3.5. Metalografi deneyi.....	28
3.3.5.1. Numune alma (kesme).....	28
3.3.5.2. Kalıplama ( Bakalite alma).....	29
3.3.5.3. Zımparalama.....	29
3.3.5.4. Parlatma.....	29
3.3.5.5. Dağlama.....	30

## BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI.....	31
4.1. Isıl İşlem Sonuçları.....	31
4.2. 42CrMo4 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu.....	33
4.3. Mekanik Test Sonuçları.....	39
4.4. Sem Mikroyapı Görüntüleri.....	58

## BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	68

## **SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ**

CER	: Çekme
EN	: Avrupa Normu
HBW	: Brinell sertlik değeri
HRC	: Rockwell sertlik değeri
HV	: Vickers sertlik değeri
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
Te	: Şekil verme sıcaklığı
T	: Mutlak ergime sıcaklığı



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. 1801’de İngiltere Wandswart ile Croydan şehirleri arasında atların çektiği vagonlar.....	1
Şekil 1.2. İlk buharlı lokomotif.....	2
Şekil 1.3. Tekerlek takımı.....	3
Şekil 1.4. Cer kancası.....	3
Şekil 1.5. Koşum takımı.....	4
Şekil 2.1. Elde dövme.....	8
Şekil 2.2. Açık kalıpta dövme yöntemleri.....	8
Şekil 2.3. Kapalı kalıpta dövme yöntemleri.....	10
Şekil 3.1. Ham malzeme.....	13
Şekil 3.2. Dövme sonrası malzeme.....	13
Şekil 3.3. Deney numunesinin 3.1 kalite sertifikası.....	14
Şekil 3.4. Instron 300dx çekme test cihazı.....	16
Şekil 3.5. Instron sı-1 k3 çentik darbe test cihazı.....	17
Şekil 3.6. Qness 750m sertlik ölçme test cihazı.....	17
Şekil 3.7. Atm brillant 255 numune kesme cihazı.....	18
Şekil 3.8. Black charpy çentik açma cihazı.....	19
Şekil 3.9. Tamson tlc 40 numune soğutma cihazı.....	19
Şekil 3.10. Spectrolab m9 spectral analiz test cihazı.....	20
Şekil 3.11. Atm saphin s30 otomatik dairesel numune zımparalama ve parlatma cihazı.....	21
Şekil 3.12. Atm jade 700 düz zımparalama cihazı.....	21
Şekil 3.13. Struers prontospress-2 bakalite alma cihazı.....	22
Şekil 3.14. Çekme numunesi.....	23
Şekil 3.15. İki çene arasına bağlanmış çekme test numunesi.....	23

Şekil 3.16. (a) sünek malzemelerin kırılma şekli, (b) gevrek malzemelerin kırılma şekli.....	24
Şekil 3.17. Çentik numuneleri.....	25
Şekil 3.18. Sertlik ölçüm cihazı indetörü.....	26
Şekil 3.19. Brinell sertlik testi.....	26
Şekil 3.20. Vickers sertlik deneyi.....	27
Şekil 3.21. Spectral analizde yanma bölgeleri.....	28
Şekil 4.1. 42CrMo4 çeliğine uygulanan ısı işlem raporu.....	32
Şekil 4.2. Ham malzemenin spectral analizi.....	33
Şekil 4.3. Isıl işlem uygulanmış numunenin spectral analizi.....	34
Şekil 4.4. %63 Oranında redüksiyon yapılmış numunenin spectral analizi.....	34
Şekil 4.5. %63 Oranında redüksiyon ve ısı işlem yapılmış numunenin spectral analizi.....	35
Şekil 4.6. % 74 Oranında redüksiyon yapılmış numunenin spectral analizi.....	35
Şekil 4.7. % 74 Oranında redüksiyon ve ısı işlem yapılmış numunenin spectral analizi.....	36
Şekil 4.8. Isıl işlem uygulanmış malzemenin spectral analizi.....	36
Şekil 4.9. %63 Oranında redüksiyon yapılmış malzemenin spectral analizi.....	37
Şekil 4.10. Dövme işlemi yapılmış malzemenin spectral analizi.....	37
Şekil 4.11. Çeliği imal eden firmaya ait 3.1 kalite sertifikası.....	38
Şekil 4.12. Çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 1 numaralı numuneler....	39
Şekil 4.13. Isıl işlem uygulanmış, çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 2 numaralı numuneler.....	39
Şekil 4.14. %63 Oranında redüksiyon yapılmış, çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 3 numaralı numuneler.....	40
Şekil 4.15. %63 Oranında redüksiyon ve ısı işlem yapılmış, çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 4 numaralı numuneler.....	40
Şekil 4.16. %74 Oranında redüksiyon yapılmış, çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 5 numaralı numuneler.....	40
Şekil 4.17. %74 Oranında redüksiyon ve ısı işlem yapılmış, çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 6 numaralı numuneler.....	40
Şekil 4.18. Isıl işlem ve dövme uygulanmamış numunenin çekme testi sonucu...	42

Şekil 4.19. Dövme işlemi yapılmamış, ısıl işlem görmüş numunenin çekme testi sonucu.....	43
Şekil 4.20. Dövme işlemi yapılmış, ısah işlemi yapılmamış numunenin çekme testi sonucu.....	44
Şekil 4.21. Dövme işlemi yapılmış, ıslah işlemi yapılmış numunenin çekme testi sonucu.....	45
Şekil 4.22. Dövme işlemi yapılmamış, ısıl işlem görmüş numunenin numunenin çekme testi sonucu.....	46
Şekil 4.23. Dövme işlemi yapılmış, ısah işlemi yapılmamış numunenin çekme testi sonucu.....	47
Şekil 4.24. 1 nolu numunenin çentik darbe testi.....	49
Şekil 4.25. 1 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları.....	49
Şekil 4.26. 1 nolu numunenin sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.....	50
Şekil 4.27. 2 nolu numunenin çentik darbe testi.....	50
Şekil 4.28. 2 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları.....	50
Şekil 4.29. 2 nolu numunenin sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.....	51
Şekil 4.30. 3 nolu numunenin çentik darbe testi.....	51
Şekil 4.31. 3 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları.....	51
Şekil 4.32. 3 nolu numunenin sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.....	52
Şekil 4.33. 4 nolu numunenin çentik darbe testi.....	52
Şekil 4.34. 4 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları.....	52
Şekil 4.35. 4 nolu numunenin sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.....	53
Şekil 4.36. 5 nolu numunenin çentik darbe testi.....	53
Şekil 4.37. 5 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları.....	53
Şekil 4.38. 5 nolu numunenin sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.....	54
Şekil 4.39. 6 nolu numunenin çentik darbe testi.....	54
Şekil 4.40. 6 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları.....	54
Şekil 4.41. 6 nolu numunenin sıcaklık-kırılma enerjisi diyagramı.....	55
Şekil 4.42. Deney numunelerinin akma mukavemeti.....	55
Şekil 4.43. Deney numunelerinin çekme mukavemeti.....	56
Şekil 4.44. Deney numunelerinin % uzama miktarı.....	56
Şekil 4.45. Deney numunelerinin Hbw sertlik değerleri.....	57

Şekil 4.46. Deney numunelerinin darbe enerjileri.....	57
Şekil 4.47. 1 nolu numune (a) 1000x, (b) 5000x, (c) 10000x SEM görüntüsü.....	58
Şekil 4.48. 2 nolu numune (a) 1000x, (b) 5000x, (c) 10000x SEM görüntüsü.....	59
Şekil 4.49. 3 nolu numune (a) 1000x, (b) 5000x, (c) 10000x SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.50. 4 nolu numune (a) 1000x, (b) 5000x, (c) 10000x SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.51. 5 nolu numune (a) 1000x, (b) 5000x, (c) 10000x SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.52. 6 nolu numune (a) 1000x, (b) 5000x, (c) 10000x SEM görüntüsü.....	63

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney numunesinin kalitesi .....	11
Tablo 3.2. Çeliklerin sistematik sınıflandırılması .....	11
Tablo 3.3. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan çeliğin yüzde alaşım miktarları.	11
Tablo 3.4. Deney numunesini eşdeğer kalite karşılıkları (www.steenumber.com)	15
Tablo 3.5. Deneyde incelenen numunelere yapılan işlemler.....	15
Tablo 3.6. Deneyde kullanılan metalografik sarf malzemeleri.....	22
Tablo 3.7. Deneyde kullanılan numune boyutları.....	25
Tablo 4.1. Isıl işlemin 1. aşaması.....	31
Tablo 4.2. Isıl işlemin 2. aşaması .....	31
Tablo 4.3. Yapılan mekanik test sonuçları.....	41
Tablo 4.4. Çentik darbe testi sonuçları.....	48
Tablo 5.1. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	64

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Raylı sistemler, dövme, ısıl işlem, mekanik özellikler

Bu çalışmada, raylı sistemelerde kullanılan çelik parçalarda dövme ve ısıl işlem prosesinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Dövme ve ısıl işlem prosesin etkisi tahribatlı test yöntemleri ile belirlenmiştir. Standartta uygun ölçülerde deney numuneleri hazırlanarak test cihazlarından sonuçlar elde edilmiştir.

Deney sonuçlarına göre dövme ve ısıl işlem prosesi EN 42CrMo4 çeliğinde akma mukavemetini, çekme mukavemetini, sertlik değerini önemli derecede arttırmıştır ancak EN 42CrMo4 çeliğinin % uzamasında önemli derecede düşürmüştür. Isıl işlem prosesi çentik darbe direncini önemli derece artırırken dövme prosesi çentik darbe direncini dövme oranlarına bağlı olarak olumlu ve olumsuz yönde değiştirmiştir. Dövme oranı belli değere kadar çentik darbe direncini olumlu etkilerken, oran bu değer üzerine çıktığında çentik darbe direncinde ciddi düşüşler gözlenmiştir.

# **THE EFFECT OF MECHANICAL PROPERTIES OF FORGING PROCESS OF STEEL PARTS USED IN RAILED SYSTEMS**

## **SUMMARY**

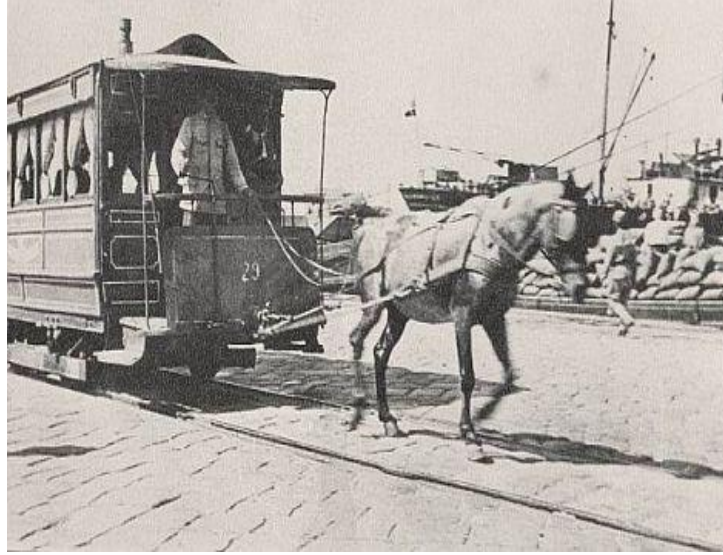
Keywords: Forging, heat treatment, mechanical properties

In this study, the effects of forging and heat treatment processes of EN 42CrMo4 steel are investigated. The effects of processes are determined by destructive test methods. The results are obtained by standard test specimens with calibrated test equipment.

According to the test results, forging and heat treatment process significantly increases the yield strength, tensile strength and hardness value in the EN 42CrMo4 steel but decreases the % elongation. While the heat treatment process significantly increases Charpy impact energy, the forging process changes the impact energy in positive and negative ways depending on the rate of forging. The forging rate has a positive effect on the impact energy to a certain value, but when the rate exceeds this value, a serious decrease in impact energy is observed.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

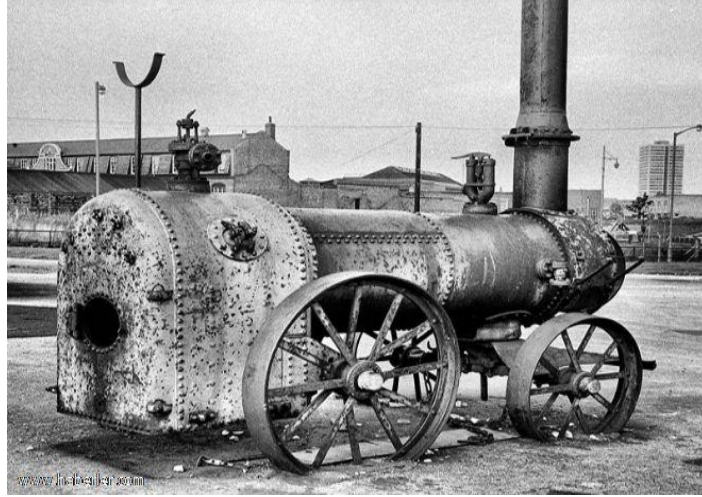
İlk demiryolu 1801'de İngilterede Wandsworth ile Croydan şehri arasında 16 km uzunlukta yapıldı. Bu demir yolunda vagonları çekebilmek için atlar ve faytonlar kullanıldı. Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. 1801'de İngilterede Wandsworth ile Croydan şehirleri arasında atların çektiği vagonlar

Bu arada Endüstri Devrimi'nin en önemli icadı olan buhar gücü ray üzerinde denendi. İlk buharlı lokomotif 1804'te Richard Trevithick tarafından İngiltere'de yapıldı. Bu lokomotif 10 ton yük ve 70 kişi taşıyan 5 vagonu çekti. İlk buharlı lokomotif Şekil 1.2.'de verilmiştir.



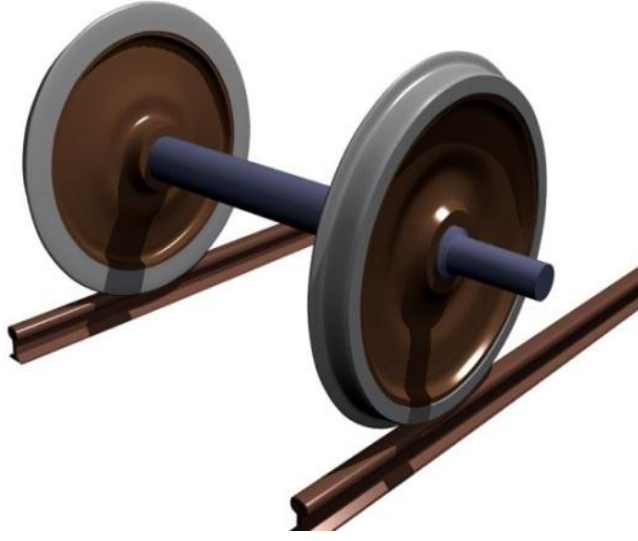


Şekil 1.2. İlk buharlı lokomotif

Sanayi devrimi ile lokomotifler geliştirilmeye başlanmıştır. Hız ve yük taşıma kapasiteleri arttırılmış ancak lokomotif ve vagonların ray üzerinde ilerlerken, dökme demir rayların lokomotifin ağırlığı altında kolayca kırılması ve lokomotif imalatında kullanılan malzemenin dayanıksız olması problemi ile karşılaşmıştır. Bu problemde asıl gelişme George Stephenson tarafından gerçekleştirilmiştir. Dökme demir ray yerine 1810 yılında dövme demirden raylar kullanılmıştır. Lokomotiflerde süspansiyon ve fren sistemleri geliştirilerek dövme prosesine tabi tutulan çeliğin daha dayanıklı hale geldiği görülmüştür. Dinamik yükler altında çalışan parçaların imalat yönteminin seçiminde dövme teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır.

Bugün demiryolu araçlarının tekerlek, aks, cer kancası, cer mili, koşum takımları, biyel kolları kritik parçalar olup dövme yöntemi ile imal edilmektedir.

Raylı sistemlerde kullanılan tekerlek takımları düz, fren diskli ve şanzımanlı olarak farklı tip ve boyutlarda olup dövme yöntemi ile imal edilmekte ve ısıtma işlem safhalarından geçirilerek istenilen mekanik özellikler kazandırılmaktadır. Tekerelek setleri ise vagon ve lokomotiflerin ağırlıklarını taşıma ve ray üzerinde yuvarlanma hareketi yaparak ilerlemeyi sağlamaktadır. Şekil 1.3.'de tekerlek takımı verilmiştir.



Şekil 1.3. Tekerlek takımı

Demiryolu araçlarının diğer elemanlarından biri de cer tertibatlarıdır. Cer tertibatları demiryolu araçlarını birbirine bağlayarak çekme ve itme hareketlerini iletirken aynı zamanda çekme ve itme kuvvetlerinin bir kısmını sönmülemektedir. Cer kancası Şekil 1.4.'de, koşum takımı Şekil 1.5.'de verilmiştir.



Şekil 1.4. Cer kancası



Şekil 1.5. Koşum takımı

Demir yolu araçları çalışma esnasında değişken yüklerle maruz kalmaktadır. Bu yüzden de kritik yerlerde kullanılan parçanın gerekli fonksiyonları yerine getirebilmesi açısından malzeme seçimi ve imalat yöntemi oldukça önem arz etmektedir.

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ**

### **2.1. Raylı Sistemler**

Raylı sistemlerin taşımacılıkta ilk uygulama yeri İngilterede 1830 tarihinde olmuş ve ilk kullanıma başlandığı günden günümüze, insan ve yük taşımacılığında güvenilir, ekonomik ve hızlı bir taşıma sistemi haline gelmiştir. Dünyada sanayi devrimi ile birlikte köyden kente yapılan göçlerin etkisi ile kentler hızla gelişmiştir. Kentlerin kalabalıklaşması ile ulaşımda sorunlar artmış, bu sorunların çözümü için şehirlerarası ve şehir içi toplu ulaşım sistemleri arasında yüksek yolculuk kapasitelerine sahip ulaşım sistemleri olarak raylı ulaşım sistemleri, toplu ulaşımda ön plana çıkmıştır.

Günümüzde hızlı trenler; dizel tren setleri, konveksiyonel yolcu vagonları, yük vagonları, hafif raylı sistemler olarak yerini almıştır.

#### **2.1.1. Raylı sistemlerde kullanılan dövme parçalar**

##### **2.1.1.1. Tekerlek setleri**

Tekerlek seti içersinde dingil (aks) ve teker bulunur. Aks ve tekerler önceleri dökme demirden imal ediliyorken bu alanındaki gelişmeler ile raylı sistem araçlarının hızları ve yük kapasitelerinin artması ile dökme demirden imal edilen aks ve tekerler kısa ömürlü olmuş ve ihtiyaçları karşılayamamıştır.

Günümüzde aks ve tekerler dinamik yüklere karşı mukavemeti ve mekanik özellikleri daha iyi olan dövme yöntemi ile üretilmeye başlanmıştır. Böylece kullanım sırasında aks ve tekerlerde oluşabilecek hatalar minimize edilmiştir.

Tekerlek ve akslar, ingot veya kütük halinde dökülen çeliğin presle dövülerek şekillendirilmesi ile oluşturulur. Dövme için çok yüksek kapasiteli (8.000-10.000 ton) preslere ihtiyaç duyulur.

Ülkemizde tekerlek ve aks üretimi bulunmamakla birlikte son şekillendirme işlemi kenar haddeleme veya şahmerdanla dövülerek yapılmaktadır. Dövme ve haddeleme ara işlemlerinde ise tekerlek ve aks gerilim giderme tavlmasına tabi tutulmaktadır.

#### **2.1.1.2. Cer tertibatı**

Cer tertibatı içerisinde cer kancası, koşum takımı ve cer çubuğu bulunur. Ülkemizde üretimi MKE ve özel fabrikalarda yapılmaktadır.

Koşum takımı kendi içerisinde biyel kolları, vidalı mil, üzengi, çevirme kolu, takoz ve pernelardan oluşmaktadır.

Dövme yöntemi ile kapalı kalıpta üretimi gerçekleştirilen bu parçaların ısı işlem sonrası montajı yapılmaktadır. Bu parçaların tümü cer kancası ile yekpare şekilde oluşturulmaktadır.

#### **2.2. Dövme Teknolojisine Giriş**

Dövme prosesi, darbe veya basınç etkisi altında kontrollü bir şekilde plastik deformasyon uygulanarak, metali istenen şekle getirmek, tane boyutunu küçültmek ve mekanik özelliklerini arttırmak maksadı ile uygulanan bir kalıcı şekil verme yöntemi olarak tanımlanabilir.

Dövme işlemi, insanlığın kullandığı en eski metal şekillendirme sanatıdır. Tarihte yaklaşık 18. yüzyılın sonlarına kadar el sanatı olarak gelişme göstermiştir. Bu tarihten sonra makinelerin insan gücünün yerine geçmesi ile dövme sanatının uygulandığı atölyeler endüstriyellemeye başlamıştır.

Günümüzde alüminyumdan zirkonyuma kadar bir çok metal, bir civatadan türbin robotuna veya tek parça halindeki uçak kanadına kadar çeşitli boyut ve şekillerdeki parçalar olarak dövülebilmektedir. Dövme parçaları, taşıtlarda (uçak, otomobil, tren v.s.), tarım makinelerinde ve aletlerinde, inşaat ve yol makinelerinde, füze ve roketlerde, silah sanayisinde, türbin, motor ve çeşitli makinelerde kullanılan parçalarda, özellikle güvenlik bakımından önem taşıyan, darbeye ve gerilmelere dayanıklı kritik parçaları oluşturmaktadır. Dövme prosesi değişik kriterlere göre farklı şekillerde sınıflandırılır. Kullanılan makineler çalışma prensiplerine göre şahmerdanla dövme ve presle dövme diye iki grupta sınıflandırılabilir (Çiğdem, 1996).

Dövme işlemi sıcak, yarı sıcak ve soğuk olarak yapılabilir. Metalin mutlak ergime sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )  $T_e$  ve şekil verme sıcaklığı da  $T$  ile belirtilirse, genel olarak,  $T/T_e < 0.3$  ise soğuk şekil verme,  $T/T_e = 0.3 - 0.5$  ise yarı sıcak şekil verme ve  $T/T_e > 0.6$  ise sıcak şekil verme olarak gösterilebilir (Çapan, 1999).

### **2.3. Başlıca Dövme Yöntemleri**

Dövme işlemleri günümüze kadar çok farklı şekillerde yapılmış olup bu yöntemleri en genel anlamda iki ana grupta ele almak mümkündür. Bu yöntemler el ile dövme (demirci dövmesi) ve makine ile dövme yöntemleridir.

#### **2.3.1. Elde dövme**

El aletleri kullanılarak ısıtılmış metalin örs veya sert bir metalin zemin üzerinde çekiçlenmesi ile gerçekleştirilen ve ilk dövme işlemi olarak bilinen bir dövme yöntemidir (Maraşlıoğlu, 1990) El ile dövme yöntemi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Elde dövme

### 2.3.2. Açık kalıpla dövme

Basit, kaba şekilli parçaların açık kalıpta dövülmesi işlemidir. En basit şekli ile açık kalıpla dövme işlemi, örneğin silindirik bir parçayı iki düzlemsel kalıp arasında, eksenî yönünde uygulanan basma kuvveti etkisi ile şekil verilmesi işlemidir. Bu işlemde, iş parçasının bir taraftan boyu kısalırken diğer taraftan kuvvet yönüne dik olarak genişleyerek çapı artmaktadır (Çapan, 1999). Açık kalıpla dövme yöntemi Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Açık kalıpta dövme yöntemi

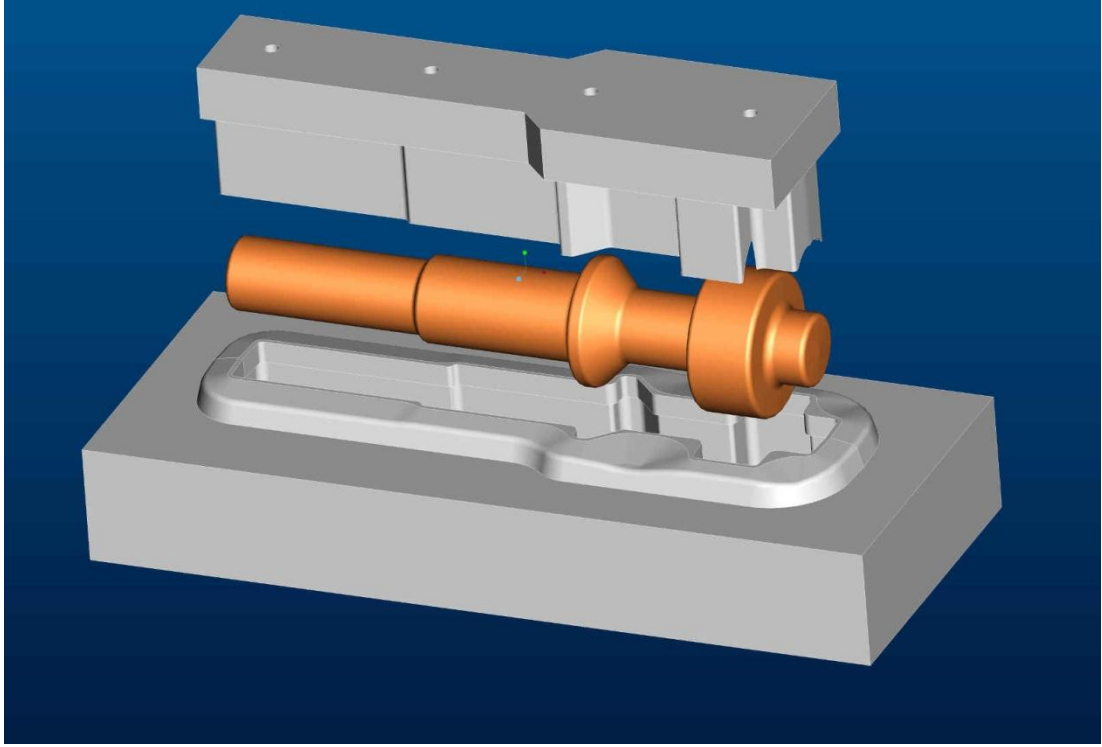
### **2.3.2.1. Açık kalıpta dövme işleminin uygulandığı durumlar**

1. Dövme işlemi yapılacak parça sayısı az ve hacmen büyük parçaların şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir.
2. Şekillendirme işlemi düzlemsel ve basit kalıplarda yapıldığından dolayı bu tür dövme işlemleri boyut ve şekil hassasiyeti aranmayan parçalarda kullanılır.
3. Şekillendirme işlemi sonrası talaşlı imalata ihtiyaç duyulduğundan dolayı bu yöntem ile genel olarak yumuşak malzemeler şekillendirilir (makineciGCC.wordpress.com).
4. Açık kalıpta dövme işlemi kapalı kalıpta dövme işlemine hazırlık amacı ile de kullanılabilir.

### **2.3.3. Kapalı kalıpla dövme**

Karmaşık geometrili parçaları açık kalıpta dövme yöntemi ile elde etmek mümkün olmadığından dolayı bu parçaları imal edebilmek için özel şekillendirilmiş kalıplara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle birbiri üzerine kapanan ve imal edilecek parçanın negatif şekline sahip kalıplar kullanılmaktadır (Maraşlıoğlu, 1990).





Şekil 2.3. Kapalı kalıpta dövme yöntemi

#### 2.3.1.1. Kapalı kalıpta dövme yönteminin avantajları

1. Karmaşık geometrili parçalar bu yöntem ile kolaylıkla dövülebilir.
2. Dar tolerans aralığındaki parçaların üretimi yapılabilir.
3. İyi yüzey durumuna sahip parçalar elde edilir.
4. Mukavemet özellikleri açısından açık kalıpta dövme yöntemine göre daha üstün bir yöntemdir.
5. Seri imalata uygundur.

#### 2.3.4. İzotermal dövme

Geleneksel kalıpla dövme proseslerinde, iş parçası ile kalıp arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 1000°C civarında olabilmektedir. İzotermal dövmede ise uygun bir teçhizat sayesinde kalıplar iş parçası sıcaklığına kadar ısıtılır. Dövme işlemi süresince de kalıplar ile iş parçası yaklaşık aynı sıcaklıkta tutularak iş parçasının soğuması engellenir. Böylece yüksek sıcaklıkta akma mukavemeti nisbeten düşük olan

malzemenin kalıp boşluğunu tamamen doldurması sağlanmış olur. Bu yöntemle en çok dövme işlemi yapılan malzemeler, akma mukavemeti yüksekliği sebebi ile çok zor şekillendirilebilen titanyum ve yüksek sıcaklığa dayanıklı nikel esaslı alaşımlardır. İzotermal dövmenin geleneksel kalıpla dövme prosesine göre üstünlükleri, dövme işlem sonrası çok az talaşlı imalata gerek kalması ve dövme kuvvetinin % 20-25 oranında azaltılmasıdır (Demirkol, 1991).

### **2.3.5. Hassas dövme**

Hassas dövme prosesi istenen ebat veya istenen ölçülere en yakın olan dövme işlemi olarak tanımlanabilir. Özel bir teknik ya da yöntem değildir. Fakat mevcut dövme metotlarının ıslah ve iyileştirilmesi ile dövülmüş parçanın daha sonraki aşamalarda talaşlı imalatını azaltacak hatta talaşlı imalata gerek kalmayacak duruma getirebilmektedir. (<http://www.sistasforge.com/neden-dovme.aspx?id=6>).

Hassas dövme yöntemine örnek olarak günümüzde paslanmaz çelik gibi dövülmesi zor alaşımlardan imal edilen türbin kanadı verilebilir (Çapan, 1999).

## BÖLÜM 3. MATERYAL ve YÖNTEM

### 3.1. Materyal

Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan deney numunesine ait standart gösterim Tablo 3.1.'de, çeliklerin sistematik sınıflandırılması Tablo 3.2.'de ve gerçekleştirilen çalışmadan kullanılan çeliğin yüzde alaşım miktarları Tablo 3.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Deney numunesinin kalitesi

Kalite	EN 42CrMo4
Çelik No	1.7225
Çelik Grubu	Yapısal, basınçta dayanıklı ve mühendislik çelikleri

Tablo 3.2 Çeliklerin sistematik sınıflandırılması

Katsayı	Alaşım elementi
4	Si, Co, Cr, W, Ni, Mn
10	Al, Cu, Mo, Ta, Ti, V
100	C, P, S, N
1000	B

Tablo 3.3 Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan çeliğin yüzde alaşım miktarları

42CrMo4	
42/100	% 0.42 C
4/4	% 1 Cr
4/10	%0.4 Mo

Dövme işlemi numune çapı 55 mm olan ve Tablo 3.1.'de belirttiğimiz EN 42CrMo4 çelikten yapılmıştır. Şekil 3.1.'de çeliğin dövme işlemine tabi tutulmadan önceki ham hali ve şekil 3.2.'de dövme işlemi yapıldıktan sonraki hali verilmiştir.



Şekil 3.1. Ham malzeme



Şekil 3.2. Dövme sonrası malzeme

Denedeyde kullanılan malzemenin 3.1 kalite sertifikası Şekil 3.3.'de verilmiştir.

Лист / Page 1  
Листов / Pages 2

**Metalloinvest**  
OEMK

**Открытое акционерное общество  
"Оскольский электрометаллургический комбинат"**  
Сертификат качества (Свидетельство о приемочном испытании)  
Quality certificate (inspection certificate)

№ 0035943      От/ Dated 20.04.14      Inspection certificate EN 10204 3.1

Производитель / Producer      Грузополучатель / Consignee  
Открытое акционерное общество      Omsir Celik  
"Оскольский электрометаллургический комбинат" 00187895  
Joint stock company "Oskol elektrometallurgical plant" 00187895  
309515 г. Старый Оскол, Белгородской обл. Российская Фед. 643 ОАО "ОЭМК"  
309515 Stary Oskol Russia 643 JSC "OEMK"  
Начальник УЗП / Head of Export Sales Department  
Телефон / Telephone: (4725) 37-51-97      Факс / Fax: (4725) 37-57-75      Турция 792  
E-mail: chuev@oemk.ru      Turkey

OTK / Quality control department  
Телефон / Telephone: (4725) 37-59-40      Факс / Fax: (4725) 37-48-14  
E-mail: sergeev@oemk.ru

Вид транспорта / Type of transport      Вагон / Railway car      Страна назначения / Country of destination  
Транспорт / Transport №      6498000      Турция      Turkey

Контракт / Contract      Д. / S.      От / Dated      Наш номер заказа/позиции / JSC "OEMK" order/position number  
00187895/990      279      03.03.2012      650168 / 112

№ плавки / Heat number      44711  
№ партии / Lot number      1132

Материал Material	Форма изделия, размеры, мм Shape of product, size, mm	Условия поставки Technical specifications	Масса, т Weight, t	Вид упаковки Package type	Кол-во Quantity	Маркировка Color code
42CRMO4	KP / Round 55 3500-5849	GDC-Round bars	1.050	пачка / bundle	1	красный торец / red end

Технические требования / Technical requirements  
Общие технические условия /      GDC-ROUND BARS  
Technical specifications

Химический состав / Chemical composition

heat	C	%	Si	%	Mn	%	S	%	P	%	Cr	%	Mo	%
	0.42		0.25		0.84		0.004		0.007		1.05		0.18	

Тип испытаний Properties	Наименование испытаний Test type	Ед. изм. Unit of measure	№ пробы № specimen	№ значения № value	Результат испытаний Test result
Механические свойства Mechanical properties	Твердость в состоянии поставки Hardness as delivered	НВ	01	1	207
				2	207
				3	202
	Относительное удлинение Elongation	%	01	1	13
	Относительное сужение Reduction of area	%	01	1	13
	Степень обжатия Reduction ratio			2	55
	Временное сопротивление Tensile strength	Мпа	01	1	56
Микроструктура Microstructure	Предел текучести Yield strength	Мпа	01	1	12
	Аустенитное зерно по ASTM E112 Austenitic grain ASTM E112	балл grade	01	1	1110
	Общая оценка макроструктуры Macrostructure evaluation		01	1	1110
	Зернистость немет. включ. Non-metallic inc.	Немет. включ. DIN 50602 K4(S+O) Non-metallic inc. DIN 50602 K4(S+O)		01	1
Сообщения для потребителя Additional information	УЗК Ultrasonic test		01	1	1010
	Метод производства Method of manufacturing:		01	1	8
	Подтверждение поверяющей дефектоскопии Confirmation of surface defectoscopy		01	1	УД / SATISFACTORY
	УЗК Ultrasonic test		01	1	ЕАФ, СС
	УЗК Ultrasonic test		01	1	100%
	УЗК Ultrasonic test		01	1	SEP 1920 B/3

Şekil 3.3. Denedey numunesinin 3.1 kalite sertifikası

Tablo 3.4 Deney numunesinin eşdeğer kalite karşılıkları (www.steelnumber.com)

En-Eu	Usa	Germany Din, wnr	Japan jis	France Afnor	Englan Bs
42crmo4	4140 4142	42crmo4	Scm440h	42cd4	708m4 0 Cfs11
Itay Uni	Spain Une	Chine Gb	Finland Fs	Russia Gost	Inter Iso
42crmo4	42crmo4 f1252	42crmo4	42crmo4	35khm 38khm	42crmo

Tabloda 3.4.'de görüldüğü üzere EN 42CrMo4 çeliği dünyada farklı ülkelerin kullanmış olduğu standarda göre farklı isimlerde tanımlanmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada deney numunesine uygulanan işlemler Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Deneyde incelenen numunelere yapılan işlemler

NUMUNE KODLARI	DÖVME ORANLARI	ISIL İŞLEM
1	Yok	Yok
2	Yok	Var
3	% 63 oranında	Yok
4	% 63 oranında	Var
5	% 74 oranında	Yok
6	% 74 oranında	Var

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Kullanılan test ve ölçüm cihazları

#### 3.2.1.1. Instron 300dx çekme test cihazı

Çekme, basma, eğme testleri yapılabilen universal test cihazıdır. 300 kN kapasitede olup hidrolik yağ basıncı ile çalışmaktadır. Cihazda Bluehill 3 programı kullanılmaktadır. Ekstra manuel ektansiyometresi mevcuttur. Düz ve dairesel numunelerin testi yapılabilmektedir. Maksimum test hızı 150 mm/dk dır. Cihaz Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Instron 300dx çekme test cihazı

#### 3.2.1.2. Instron sı-1 k3 çentik darbe test cihazı

Cihaz üzerinde 2 skala mevcuttur.1 kademenin kapasitesi 169.4 Joule 2. kademenin kapasitesi ise 406.7 Joule. Manuel sarkaç sistemi bulunur. Cihaz Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5 Instron si-1 k3 çentik darbe test cihazı

### 3.2.1.3. Qness 750m sertlik ölçme test cihazı

Vickers, Brinell, Rockwell, Knopp ve Plastik sertlik metodları ile ölçüm yapılabilir. Cihaz yük kapasitesi 3 – 750 kg arasındadır. Manuel ve motorize şekilde yükseklik ayarlaması ve USB CMOS 1/2 ve LED aydınlatma ile manuel resim analizi yapılabilir. Bu cihazda birden çok indenterlar ve lensler için otomatik dönebilen 6 ‘lı motorize taret bulunmaktadır. Cihaz Şekil 3.6.’da verilmiştir.



Şekil 3.6 Qness 750m Sertlik ölçme test cihazı



#### 3.2.1.4. Atm brillant 255 numune kesme cihazı

Manuel olarak yatay ve dikey hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Kesme bölgesini aydınlatan LED aydınlatma sistemi bulunmaktadır. Kesme işlemi esnasında otomatik güvenli kapı sistemine sahiptir. 400 mm'ye kadar kesme diski takılabilir. Lazer ışığı sayesinde kesme zonu belirlenebilir. Sıvı soğutmalı sistem ile çalışır. Cihaz Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Atm brillant 255 Numune kesme cihazı

#### 3.2.1.5. Black charpy çentik açma cihazı

Bu cihazda elle çalıştırma yöntemi kullanılır. Üzerine takılabilen broşlar sayesinde V ve U çentik açılabilir. Cihaz Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Black charpy Çentik açma cihazı

### 3.2.1.6. Tamson Tlc 40 numune soğutma cihazı

Çentik numunelerini soğutmak için kullanılır. İçersine etil alkol konularak  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $20^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilir. 14 litre kapasiteye sahiptir. Cihaz Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.9 Tamson tlc 40 Numune soğutma cihazı

### 3.2.1.7. Spectrolab m9 spectral analiz test cihazı

Fe, Al, Cu bazlı metal ve alaşımlarının elementel analizi yapabilir. Düşük alaşımlı otomat çelileri ve paslanmaz çelikler için ayrı metotlar kullanılır. Saf Alüminyum, AlSi, AlSiMg, AlMg alaşımlar için farklı metodlar uygulanabilir. Bakır ve alaşımları için oryantasyon, saf bakır, Cu-Zn, Cu-Sn-Pb, Cu-Al olarak farklı metotlar kullanılır. Cihaz Şekil 3.10.'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Spectrolab m9 Spectral analiz test cihazı

### 3.2.1.8. Atm saphin 530 otomatik dairesel numune zımparalama ve parlatma cihazı

Çift tablalı tek döner başlık sistemine sahiptir. Disk çapları 200-250 mm'dir. Maksimum 600 dev/dk kapasitede çalışmaktadır. Pnömatik olarak çalışan yükseklik ayarlanabilir. 20-350 N arasında otomatik yük uygulayabilir. 40 mm çaplarında 5 adet numune kapasitesine ve programlanabilir hafızaya sahiptir. Cihaz Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Atm saphin 530 Otomatik dairesel numune zımparalama ve parlatma cihazı

### 3.2.1.9. Atm jade 700 düz zımparalama cihazı

Aynı anda 2 adet zımpara kullanılabilir. Su ile soğutma gerçekleştirilir. 7m/sn şerit hızında çalışır. Cihaz Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Atm jade 700 Düz zımparalama cihazı

### 3.2.1.10. Struers prontospress-2 bakalite alma cihazı

Otomatik olarak çalışan hidrolik pres bulundurur. 25-40 mm çaplarında bakalit numune basabilir. Termistör yardımı ile kendiliğinden ısıtma ve soğutma kontrolünü sağlar. Cihaz Şekil 3.13.'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Struers prontopress-2 Bakalite alma cihazı

### 3.2.2. Kullanılan metalografik sarf malzemeleri

Deneyde kullanılan metalografik sarf malzemeleri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Deneyde kullanılan metalografik sarf malzemeleri

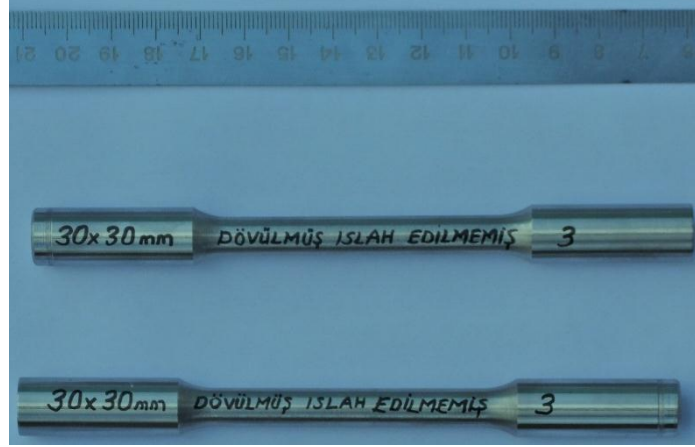
Zımpara numaraları	60 , 80 ,120 , 180 , 220 , 320 , 500 , 800 , 1000
Parlatma süspansiyonları	Mono kristalin elmas süspansiyon 6 µm ,3 µm
Dağlayıcı çözelti	% 4 Nital

## 3.3. Deneyler

### 3.3.1. Çekme testi

Çekme testi TS EN ISO 6892 standartına göre yapılmaktadır. Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın test yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Çekme deneyinde bir malzemenin statik ve yavaş uygulanan bir yüke karşı dayanımı ölçülmektedir.

Uygun ölçülerde bir çekme test numunesi hazırlanmıştır. Çekme numunesi hazırlanırken parçaya ısı girdisi olmayacak ve mekanik olarak işlenerek yüzeyde herhangi bir çektik etkisi yapmayacak şekilde pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Şekil 3.14.'de standarda uygun olarak hazırlanmış çekme numunesi verilmiştir.



Şekil 3.14. Çekme numunesi

Çekme numunesi çekme test cihazına yerleştirilir ve numuneye kuvvet uygulanır. Numunenin kopana kadar tek eksende çekme kuvvetlerine maruz bırakılır.

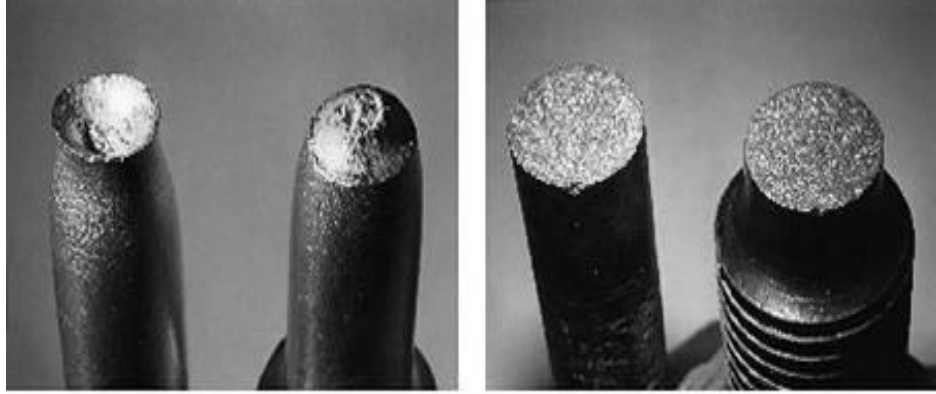


Şekil 3.15. İki çene arasına bağlanmış çekme test numunesi

Çekme deneyinde malzemedeki uzama miktarı ekstansometre ile ve uygulanan kuvvet ise yük hücresi kullanılarak ölçülür ve bu ölçülen uzama ve yük değerleri kullanılarak gerilim - gerinim eğrisi elde edilir. Çekme testi sonrasında malzemenin akma

mukavemeti, çekme mukavemeti, yüzde uzaması, yüzde kesit daralması, rezilyans ve tokluk değerlerine ulaşılır. Günümüzde cihaz programlar sayesinde bu hesaplamaları kendi otomatik olarak hesaplamaktadır.

Şekil 3.15.'de iki farklı çekme numunelerinin çekme testinden sonraki hali verilmiş olup malzeme kopma kesitine bakılarak birinin gevrek diğerinin sünek kırıldığı söylenebilir.



Şekil 3.16. (a) sünek malzemenin kırılma şekli (b) gevrek malzemenin kırılma şekli

Çekme testinden elde edilen sonuçlar; herhangi bir uygulama için malzeme seçimi, kalite kontrol ve malzemenin çeşitli kuvvetler altında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılır.

### 3.3.2. Çentik darbe testi

Çentik darbe testi TS EN ISO 148 standardına göre yapılmaktadır. Deney için standarda uygun numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Çentik numuneleri

Deney numunesinin ölçüleri malzeme kalınlığı yeterli olduğu müddetçe 10×10×55 mm ebatlarında hazırlanır. Eğer parça kalınlığı 10 mm'den düşük ise çentik numunesi ölçüleri aşağıdaki tablodaki gibi hazırlanır ve test sonuçları da çarpan katsayısı ile çarpılarak test sonuçları 10×10×55 mm ölçülerine uygun olarak verilir.

Tablo 3.7. Deneyde kullanılan numune boyutları

Çentik Numune Boyutları	Çarpan Katsayısı
2.5×10×55 mm	4
5×10×55 mm	2
7.5×10×55 mm	1.34
10×10×55 mm	1

### 3.3.3. Sertlik testi

Sertlik malzemenin batmaya karşı gösterdiği dirence denir. Metalik malzemelere uygulanan sertlik yöntemleri aşağıda verilmiştir:



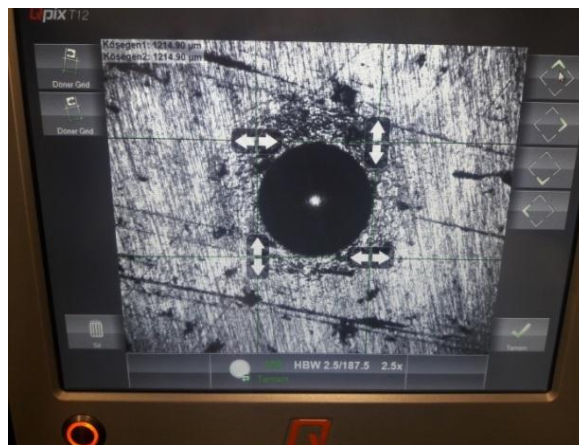
1. Brinell
2. Rockwell
3. Vickers
4. Knoop



Şekil 3.18. Sertlik ölçüm cihazı indetörü

### 3.3.3.1. Brinell sertlik yöntemi

Brinell sertlik deneyi TS EN ISO 6506 standardına göre yapılır. HBW olarak gösterilir. Bu deneyde prensip olarak tungsten karbürden yapılmış bir bilyenin belirli bir yük ile malzeme yüzeyine bastırılarak malzeme yüzeyinde oluşan izin çapının ölçülmesi ile hesaplanır. Brinell sertlik testi Şekil 3.19.'da verilmiştir.



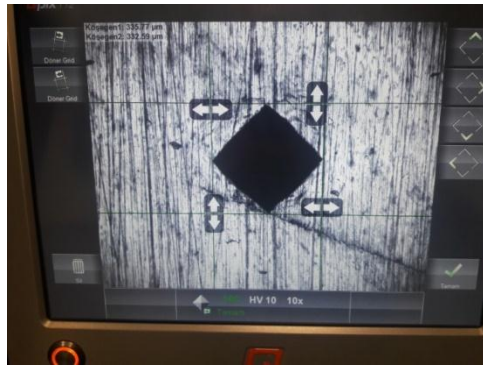
Şekil 3.19. Brinell sertlik testi

### 3.3.3.2. Rockwell sertlik deneyi

Rockwell sertlik deneyi TS EN ISO 6508-1 standardına göre yapılır. HR olarak gösterilir. Bu yöntemde standart bir batıcı uç önce malzemeye ön yük uygular sonra ana yük uygulanır ve ön yüke tekrar geri dönülür. Uçun batma derinliğinde meydana gelen artışa göre Rockwell sertlik değeri belirlenir.

### 3.3.3.3. Vickers sertlik deneyi

Vickers sertlik deneyi TS EN ISO 6507-1 standardına göre yapılır. HV olarak gösterilir. Bu yöntem prensip olarak Brinell sertlik ölçme yöntemi ile benzerdir. Vickers sertlik ölçme yönteminde  $136^\circ$  tepe açılı, tabanı kare olan elmas piramit batıcı uç kullanılır. Vickers sertlik ölçme deneyinin uygulanışı piramit şeklindeki batıcı ucun malzemenin yüzeyine, malzemenin cinsine göre seçilen yük altında belli bir süre bastırılması sonucu oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi şeklindedir. Vickers sertlik deneyi Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Vickers sertlik deneyi

### 3.3.4. Spectral analiz

Kimyasal analizi yapılacak numune önce kaba taneli zımpara ile temizlenerek numune üzerindeki yağ, kir vb. maddelerden arındırılır. Sonrasında analiz yapılacak yüzey etil alkol ile temizlenir ve kurutulur. Spectral analiz cihazına numune yerleştirilir. Analiz programından malzeme türüne göre uygun metot seçilerek işleme başlanır. Prensip olarak her elementin spectromu, yaydığı ışınların dalga boyları farklıdır. Cihaz

içersinde bulunan fotometre sayesinde dalga boyları belirlenerek malzemenin içersindeki elementlerin % bileşimleri tespit edilmiş olur. Şekil 3.21.'de kimyasal analiz yapılan numunenin yakma izleri gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Spectral analizde yanma bölgeleri

### 3.3.5. Metalografi deneyi

Metalografi, en genel anlamı ile metallerin içyapısını inceleyen bilim dalıdır. Metalografi, metallerin içyapısını inceleyerek metallerin özelliklerini tespit etmeye, hangi aşamalardan geçtiğini ve gelecekte ona ne gibi işlemler yapılabileceğini ifade eder.

Metalografide numune hazırlanma 5 kademedен oluşur:

1. Kesme(Numune Alma)
2. Kalıplama
3. Zımparalama
4. Parlatma
5. Dağlama

#### 3.3.5.1. Numune alma (kesme)

Numune, incelenecek malzemenin özelliklerini taşıyan en küçük parçadır. Bu yüzden yapılan işin ne olduğunu anlamak için numune alınması en temel işlemdir. Malzemenin hangi bölgesinden ne tür bir numunenin alınacağına karar verildikten sonra numune kesme makinasında numune kesilir. Numune kesmede dikkat edilmesi gereken nokta,

kesme esnasında malzeme ısı girdisinden etkilenerek içyapısında değişme olmamasıdır.

### **3.3.5.2. Kalıplama (bakalite alma)**

Kalıplama, genelde “bakalite alma” olarak bilinir. Kalıplama, numune hazırlama işleminin kolaylaştırmak, mikroyapı kontrolü için mükemmel düz bir yüzey elde etmek için yapılır. Bazı numuneler, ebat ve geometrik olarak uygunsa, kalıplama yapılmadan numune hazırlama işlemi yapılabilir.

### **3.3.5.3. Zımparalama**

Kaba ve ince zımparalama şeklinde sınıflandırabiliriz. Kaba zımparalamada amaç, ince zımparalama ve parlatma aşamaları için ilk düz yüzeyi elde etmektir. Bu kademedeki 80 ve 150 nolu zımparalar kullanılır. İnce zımparalamada 320, 400, 600, 800, 1200 nolu zımparalar kullanılır.

Bir zımpara numarasında üst zımpara numarasına geçerken numune iyice yıkanmalıdır. Böylece daha kaba zımpara tanelerinin bir üst kademeye geçmesi engellenmiş olur. Her zımparalama kademesinde önceki zımparalama yönüne göre 90° çevrilirse, çiziklerin yok edilmesi sağlanmış olur. Baskı kuvveti numunenin her tarafından eşit olmalı aksi takdirde düz bir yüzey elde edilemez.

### **3.3.5.4. Parlatma**

Parlatma işleminin nihai amacı, yüzey pürüzlülüğünü minimum seviyeye indirmek sureti ile ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde etmektir. Zira metal mikroskopları numune yüzeyinden yansıyan ışınları incelemektedir. Bu bakımdan, parlatma işleminin her adımında daha ince aşındırıcılar kullanılmakta, basma kuvveti ve cihazın dönme hızı genellikle adım adım azaltılmaktadır.

### 3.3.5.5. Dağlama

Mikroskopta parlatılmış yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıtıtđından yapının detayları görülemez bundan dolayı yapıda kontrast oluşturmak gerekir; bunun için dağlama işlemi yapılır.

Metalurjik incelemelerin çoğu parlatılmış yüzeylerin uygun bir kimyasal çözelti ile reaksiyon edilmesinden sonra oluşturulur. Bu işleme de dağlama denir. Dağlama sonucunda tane boyutu, deformasyon yapısı, segregasyon, mikroyapı, sementasyon-nitrasyon derinlikleri, dekarburizasyon gibi birçok parametre incelemek malzemenin içyapısı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

## BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Isıl İşlem Sonuçları

42CrMo4 çeliği içerisinde 0.40 karbon bulunan fırında 850°'de ısıtılmış ve 120 dk bekletildikten sonra su verme işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda numunelerin sertlikleri 50-53 HRC olarak ölçülmüştür. Tablo 4.1.'de yapılan ısıl işlemin 1 aşaması gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Isıl işlemin 1. aşaması

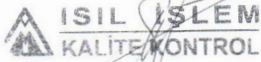
1 Aşama	SU VERME			SERTLİK
	C.P %	SICAKLIK	ZAMAN/DK	HRC
	0.40	850	120	50-53

Daha sonra numeneler 580°'ye kadar ısıtılıp havada soğulmuştur. Bu işlemin sonunda numunelerin sertlik değerleri 30-32 HRC olarak ölçülmüştür. Tablo 4.2.'de yapılan ısıl işlemin 2 aşaması gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Isıl işlemin 2. aşaması

2 Aşama	TEMPERLEME	SERTLİK
	SICAKLIK	HRC
	580°	30-32


Şekil 4.1.'de 42CrMo4 çeliğine uygulanan ısıt işlemler raporu verilmiştir.

inan makina		Date		20.01.2015													
SANAYİ VE TİCARET A.Ş.		Reporter		Serdar BALÇIN													
H.T. QUALITY REPORT		Company Name		ADA TEKNİK													
Part Name		Lot Q'ty		5 ADET													
NUMUNE PARÇA		Material		42CrMo4													
Heat Treatment Condition				Serial No													
No	M/C	Carburizing			Diffusion			Quenching			Cooling			Hardness			
		C.P (%)	Temp (°C)	Time (Hr)	C.P (%)	Temp (°C)	Time (Hr)	C.P (%)	Temp (°C)	Time (Hr)	Oil Temp (°C)	Time (min)	Speed (L.M.H)				
1		-	-	-	-	-	-	0.40	850	2		277		50-53			
2																	
No	Tempering		Sub-zero		Tempering(2nd)		Hardness		Remarks								
	Temp (°C)	Time (Hr)	Temp (°C)	Time (Hr)	Temp (°C)	Time (Hr)	HRC										
1	580	3	-	-				30-32	○								
2									◇								
HARDNESS DEPTH																	
	900																
	850																
	800																
	750																
	700																
	650																
	600																
	550																
	500																
	450																
	400																
	350																
	300																
	250																
	200																
	Hv	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	
		(mm)															
No	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	mm
1																	Hv
2																	Hv
<u>Remarks:</u>																	
Heat Treatment Quality Control Serdar BALÇIN																	
																	

Şekil 4.1. 42CrMo4 çeliğine uygulanan ısıt işlemler raporu

## 4.2. 42CrMo4 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu

Şekil 4.2.'de deney numunesi içerisinde bulunan elementlerin % bileşimleri verilmiştir. Test TÜVASAŞ Kalite Laboratuvarında SPECTROLAB M9 cihazında yapılmıştır. Ayrıca deney numuneleri TÜVASAŞ Kalite Laboratuvarında SPECTROLAB M9 Spectral Analiz Test Cihazında kimyasal analizleri yapılmış olup spectral analiz raporları aşağıda verilmiştir.

		3/3/2015 2:27:44 PM						
								
Method:	Fe-10						3/3/2015 2:27:23 PM	
Comment:	Low alloy steel	Element Concentration						
Sample Name:	Grade:							
<b>1 NOLU PARÇA</b>	<b>42CrMo4</b>							
	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>
	%	%	%	%	%	%	%	%
min	0.380		0.600			0.900		0.150
Ø (5)	<b>0.447</b>	<b>0.256</b>	<b>0.869</b>	<b>0.0100</b>	<b>0.0033</b>	<b>1.08</b>	<b>0.0290</b>	<b>0.196</b>
max	0.450	0.400	0.900	0.0350	0.0350	1.20		0.300
	<b>Al</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Nb</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>W</b>	<b>Pb</b>
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (5)	<b>0.0318</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0346</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0055</b>	<b>0.0048</b>	<b>&lt; 0.0050</b>	<b>0.0012</b>
max								
	<b>Sn</b>	<b>As</b>	<b>Zr</b>	<b>Bi</b>	<b>Sb</b>	<b>B</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (5)	<b>0.0089</b>	<b>0.0047</b>	<b>&lt; 0.00050</b>	<b>&gt; 0.0120</b>	<b>0.0157</b>	<b>0.00069</b>	<b>0.0016</b>	<b>97.0</b>
max								

Şekil 4.2. Ham malzemenin spectral analiz raporu





3/3/2015 2:35:08 PM

Method: Fe-10  
 Comment: Low alloy steel  
 Sample Name: 2 NOLU PARÇA  
 Grade: 42CrMo4  
 Element Concentration  
 3/3/2015 2:34:58 PM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%
min	0.380		0.600			0.900		0.150
Ø (5)	0.441	0.249	0.863	0.0096	0.0034	1.10	0.0279	0.192
max	0.450	0.400	0.900	0.0350	0.0350	1.20		0.300

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (5)	0.0294	0.0017	0.0331	0.0010	0.0054	0.0048	< 0.0050	0.0012
max								

	Sn	As	Zr	Bi	Sb	B	Zn	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (5)	0.0077	0.0046	< 0.00050	> 0.0120	0.0125	0.00066	0.0015	97.0
max								

Şekil 4.3. Isıl İşlem Uygulanmış numunenin spectral analiz raporu



3/3/2015 4:08:31 PM

Method: Fe-10  
 Comment: Low alloy steel  
 Sample Name: 3 NOLU PARÇA  
 Grade: 42CrMo4  
 Element Concentration  
 3/3/2015 4:08:25 PM


	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%
min	0.380		0.600			0.900		0.150
Ø (1)	0.440	0.256	0.858	0.0100	0.0032	1.14	0.0261	0.197
max	0.450	0.400	0.900	0.0350	0.0350	1.20		0.300

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (1)	0.0306	0.00091	0.0322	0.00087	0.0054	0.0049	< 0.0050	< 0.0010
max								

	Sn	As	Zr	Bi	Sb	B	Zn	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (1)	0.0080	0.0046	< 0.00050	> 0.0120	0.0160	0.00070	0.0016	96.9
max								

Şekil 4.4. % 63 Oranında redüksiyon yapılmış numunenin spectral analizi

3/3/2015 4:07:23 PM



Method: Fe-10  
 Comment: Low alloy steel  
 Sample Name: 4 NOLU PARCA  
 Grade: 42CrMo4  
 Element Concentration  
 3/3/2015 4:07:16 PM


	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%
min	0.380		0.600			0.900		0.150
Ø (6)	0.427	0.250	0.851	0.0096	0.0032	1.12	0.0274	0.193
max	0.450	0.400	0.900	0.0350	0.0350	1.20		0.300

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (6)	0.0305	0.0015	0.0326	0.00093	0.0054	0.0049	< 0.0050	0.0010
max								

	Sn	As	Zr	Bi	Sb	B	Zn	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (6)	0.0083	0.0044	< 0.00050	- 0.0120	0.0175	0.00067	0.0017	97.0
max								

Şekil 4.5. % 63 Oranında redüksiyon ve ısıtılmış numunenin spectral analizi

3/3/2015 4:12:04 PM



Method: Fe-10  
 Comment: Low alloy steel  
 Sample Name: 5 NOLU PARCA  
 Grade: 42CrMo4  
 Element Concentration  
 3/3/2015 4:11:57 PM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%
min	0.380		0.600			0.900		0.150
Ø (2)	0.436	0.258	0.846	0.0087	0.0030	1.12	0.0259	0.186
max	0.450	0.400	0.900	0.0350	0.0350	1.20		0.300

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (2)	0.0286	0.0015	0.0281	0.00094	0.0052	0.0047	< 0.0050	0.0013
max								

	Sn	As	Zr	Bi	Sb	B	Zn	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (2)	0.0067	0.0045	< 0.00050	> 0.0120	0.0103	0.00065	0.0014	97.0
max								

Şekil 4.6. % 74 Oranında Redüksiyon Yapılmış numunenin spectral analizi



Method: Fe-10  
Comment: Low alloy steel  
Element Concentration

3/3/2015 4:14:56 PM

Sample Name: Grade:

6 NOLU PARÇA

42CrMo4

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%
min	0.380		0.600			0.900		0.150
Ø (2)	0.439	0.243	0.843	0.0089	0.0035	1.14	0.0242	0.192
max	0.450	0.400	0.900	0.0350	0.0350	1.20		0.300

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (2)	0.0288	0.00076	0.0294	0.00087	0.0053	0.0047	< 0.0050	< 0.0010
max								

	Sn	As	Zr	Bi	Sb	B	Zn	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%
min								
Ø (2)	0.0061	0.0044	< 0.00050	> 0.0120	0.0061	0.00062	0.0011	97.0
max								

Şekil 4.7. % 74 Oranında Redüksiyon ve Isıl işlem Yapılmış numunenin spectral analizi

Test numuneleri farklı bölgelerden en az 3 adet yakma olacak şekilde spectral analiz yapılmış olup yukarıdaki verilen sonuçlar 3 analizin ortalamasıdır. Şekil 4.8.-4.9.-4.10.'da 6 adet test numunesinin analiz bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Isıl İşlem Uygulanmış malzemenin spectral analizi




Şekil 4.9. % 63 Oranında Redüksiyon Yapılmış malzemenin spectral analizi



Şekil 4.10. Dövme işlemi yapılmış malzemenin spektral analizi

Ayrıca çeliğinin imal edilene firmadan 3.1 kalite sertifikası alınmış olup Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Открытое акционерное общество  
"Оскольский электрометаллургический комбинат"  
Сертификат качества (Свидетельство о приемочном испытании)  
Quality certificate (Inspection certificate)

Лист / Page 1  
Листов / Pages 2

---

№ 0035943      От/Dated 20.04.14      Inspection certificate EN 10204 3.1

---

<p>Производитель / Producer Открытое акционерное общество "Оскольский электрометаллургический комбинат" 00187895 Joint stock company "Oskol elektrometallurgical plant" 00187895 309515 г.Старый Оскол, Белгородской обл. Российская Фед.643 ОАО "ОЭМК" 309515 Stary Oskol Russia 643 JSC "OEMK"</p> <p>Начальник УЭП / Head of Export Sales Department Телефон / Telephone: (4725) 37-51-97      Факс / Fax: (4725) 37-57-75 E-mail: chuev@oemk.ru</p> <p>ОТК / Quality control department Телефон / Telephone: (4725) 37-59-40      Факс / Fax: (4725) 37-48-14 E-mail: sergeev@oemk.ru</p>	<p>Грузополучатель / Consignee Omur Celik</p> <p>Турция 792 Turkey</p>
---	--

---

Вид транспорта / Type of transport	Вагон / Railway car	Страна назначения / Country of destination
Транспорт / Transport №	5498000	Турция Turkey

---

Контракт / Contract	Д. / S.	От / Dated	Наш номер заказа/позиции / JSC "OEMK" order/position number
00187895/990	279	03.03.2012	550168 / 112

---

№ плавки / Heat number 44711  
№ партии / Lot number 1132

---

Материал Material	Форма изделия, размеры, мм Shape of product, size, mm	Условия поставки Technical specifications	Масса, т Weight, t	Вид упаковки Package type	Кол-во Quantity	Маркировка Color code
42CRMO4	KP / Round 55 3500-5849	GDC-Round bars	1.050	пачка / bundle	1	красный торец / red end

Технические требования / Technical requirements  
Общие технические условия / Technical specifications GDC-ROUND BARS

Химический состав / Chemical composition

heat	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Cr %	Mo %
	0.42	0.25	0.84	0.004	0.007	1.05	0.18

---

Тип испытаний Properties	Наименование испытаний Test type	Ед. изм. Unit of measure	№ пробы № specimen	№ значения № value	Результат испытаний Test result
Механические свойства Mechanical properties	Твердость в состоянии поставки Hardness as delivered	HB	01	1	207 207 202
	Относительное удлинение Elongation	%	01	1	13 13
	Относительное сужение Reduction of area	%	01	1	55 56
	Степень обжатия Reduction ratio		01	1	12
	Временное сопротивление Tensile strength	Мпа	01	1	1110 1110
	Предел текучести Yield strength	Мпа	01	1	1020 1010
	Микроструктура Microstructure	Аустенитное зерно по ASTM E112 Austenitic grain ASTM E112	балл grade	01	1
Макроструктура Macrostructure	Общая оценка макроструктуры Macrostructure evaluation		01	1	УД / SATISFACTORY
Загрязн-ть немет. включ. Non-metallic inc.	Немет. включ. DIN 50602 K4(S+O) Non-metallic inc. DIN 50602 K4(S+O)		01	1	1
Сообщения для потребителя Additional information	Метод производства Method of manufacturing:		01	1	EAF, CC
	Подтверждение поверхностной дефектоскопии Confirmation of surface defectoscopy		01	1	100%
	УЗК Ultrasonic test		01	1	SEP 1920 B/3

Şekil 4.11. Çeliği imal eden firmaya ait 3.1 kalite sertifikası

### 4.3. Mekanik Test Sonuçları

Deney numunelerinin testi Tüvasaş Kalite Laboratuvarında İNSTRON 300DX cihazında yapılmıştır. Çekme test hızı 2 mm/dakika olacak şekilde oda sıcaklığında yapılmıştır. Her bir çalışma için 2 adet çekme numunesi hazırlanmış olup aşağıda verilen sonuçlar 2 test sonucunun ortalamasıdır. Şekil 4.12.'de çekme ve çentik testi için hazırlanan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 1 numaralı numuneler



Şekil 4.13. Isıl İşlem Uygulanmış, çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 2 numaralı numuneler



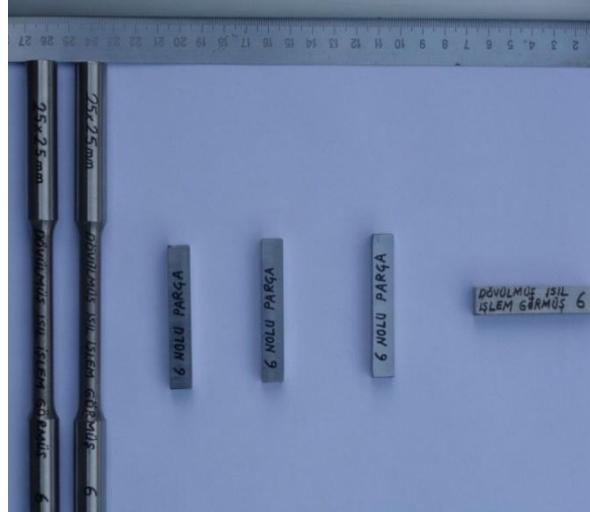
Şekil 4.14. % 63 Oranında redüksiyon yapılmış çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 3 numaralı numuneler



Şekil 4.15. % 63 Oranında redüksiyon ve ısıl işlem yapılmış çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 4 numaralı numuneler



Şekil 4.16. % 74 Oranında redüksiyon yapılmış çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış 5 numaralı numuneler



Şekil 4.17. % 74 Oranında redüksiyon ve ısıl işlem yapılmış çekme testi ve çentik testi için hazırlanmış numuneler

Tablo 4.3.'de 6 adet deney numunesinin mekanik test sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3. Yapılan mekanik test sonuçları

Numune	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	%Uzama (mm)	Sertlik HBW2.5/187.5
Ham Malzeme	480	698	23	220
Ham Malzemeye Isıl İşlem Uygulanmış	836	980	15	308
Ham Malzeme % 63 Oranında Redüksiyon Yapılmış	733	1000	12	302
Ham Malzeme % 63 Oranında Redüksiyon ve Isıl İşlem Yapılmış	860	984	16	304
Ham Malzeme % 74 Oranında Redüksiyon	778	1100	11	310



Tablo 4.3 (Devamı)

Ham Malzeme % 74				
Oranında	904	1013	15	320
Redüksiyon ve Isıl işlem Yapılmış				

Ayrıca çekme cihazından elde edilmiş çekme diyagramı ve test sonuçları aşağıda verilmiştir.



MEKANİK TEST LABORATUVARI ÇEKME TEST RAPORU

27 Subat 2015 Cuma

Numune No  
1.1

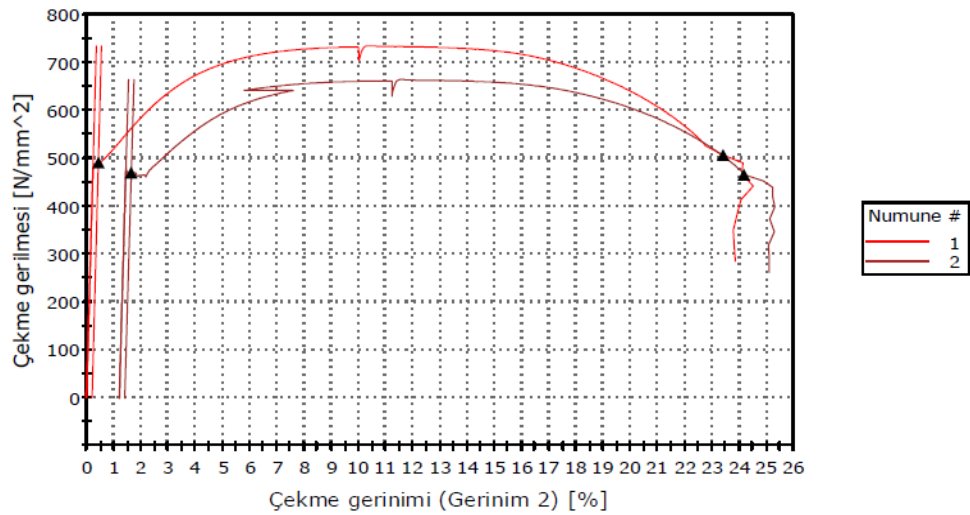
Yöntem tanımı

Numune Tanımı  
SICAK ÇEKİLMİŞ HADDE MAMUL (DÖVME VE ISIL İŞLEM UYGULANMAMIS)

Standart  
EN ISO 6892-1

Numune  
42CrMo4

Numune 1 ile 2 arası



	Akma Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Çekme Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum YÜk [N]
1	490,22600	733,56036	< 23,39230	57.153,70703
2	470,19181	663,64435	< 22,92924	51.602,58203

Şekil 4.18. Isıl işlem ve dövme uygulanmamış numunenin çekme testi sonucu



Numune No  
2

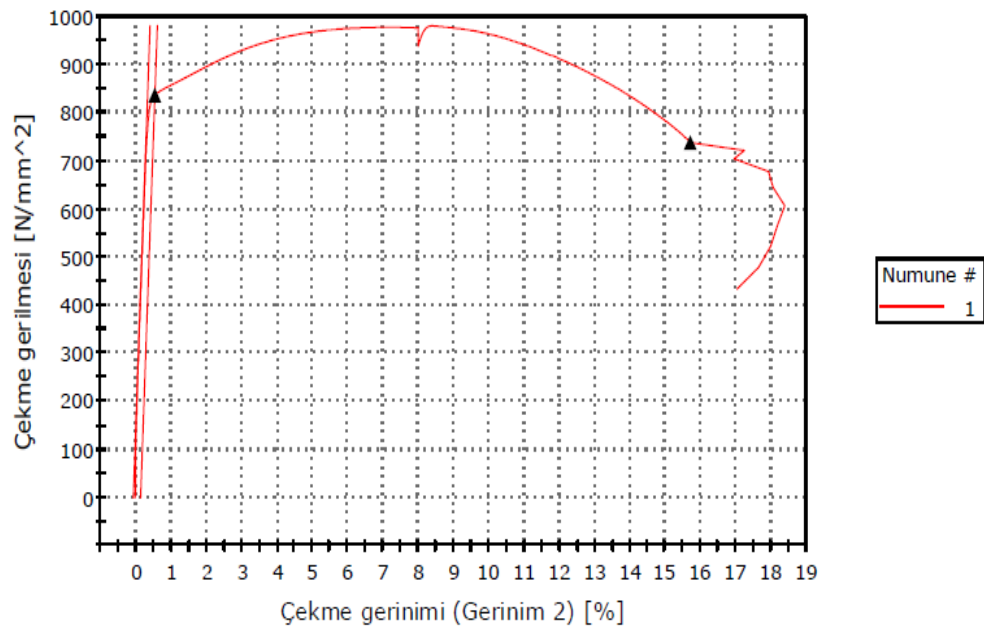
Yöntem tanımı

Numune Tanımı  
DÖVME İŞLEMİ YAPILMAMIŞ ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ NUMUNE

Standart  
EN ISO 6892-1

Numune  
42CrMo4

Numune 1 ile 1 arası



	Akma Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Çekme Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	836,79210	980,28021	< 15,69695	75.306,53906

Şekil 4.19. Dövme işlemi yapılmamış, ısıtılmış numunenin çekme testi sonucu



Numune No  
3

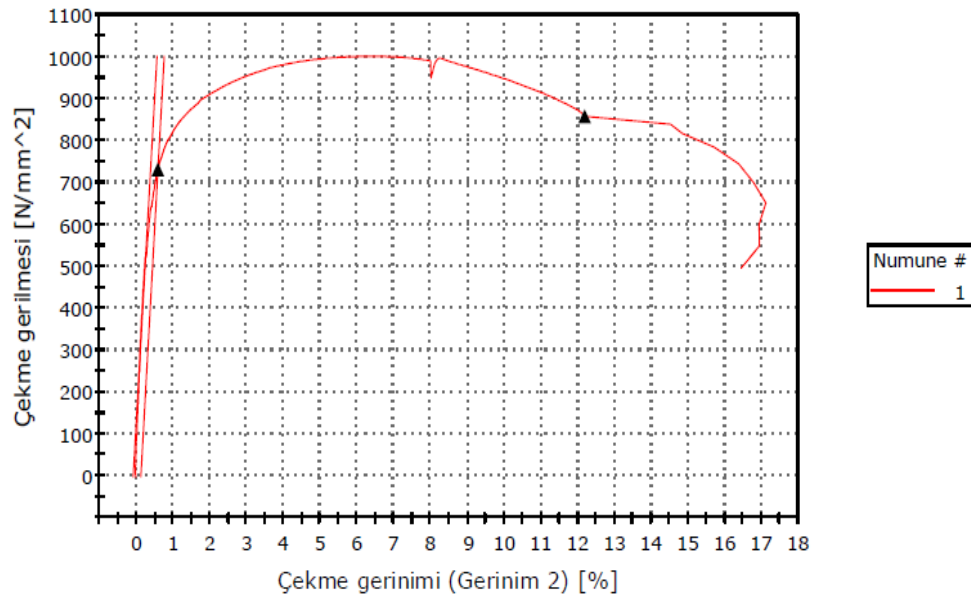
Yöntem tanımı

Numune Tanımı  
30X30mm DÖVÜLMÜS ISLAH EDILMEMİS( HAM MALZEME ÇAP 50mm)

Standart  
EN ISO 6892-1

Numune  
42CrMo4

### Numune 1 ile 1 arası



	Akma Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Çekme Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	735,73032	998,26807	< 12,75663	76.688,39062

Şekil 4.20. Dövme işlemi yapılmış, islah işlemi yapılmamış numunenin çekme testi sonucu



Numune No

4

Yöntem tanımı

Numune Tanımı

30X30mm DÖVÜLMÜS ISLAH EDİLMİS( HAM MALZEME ÇAP 50mm)

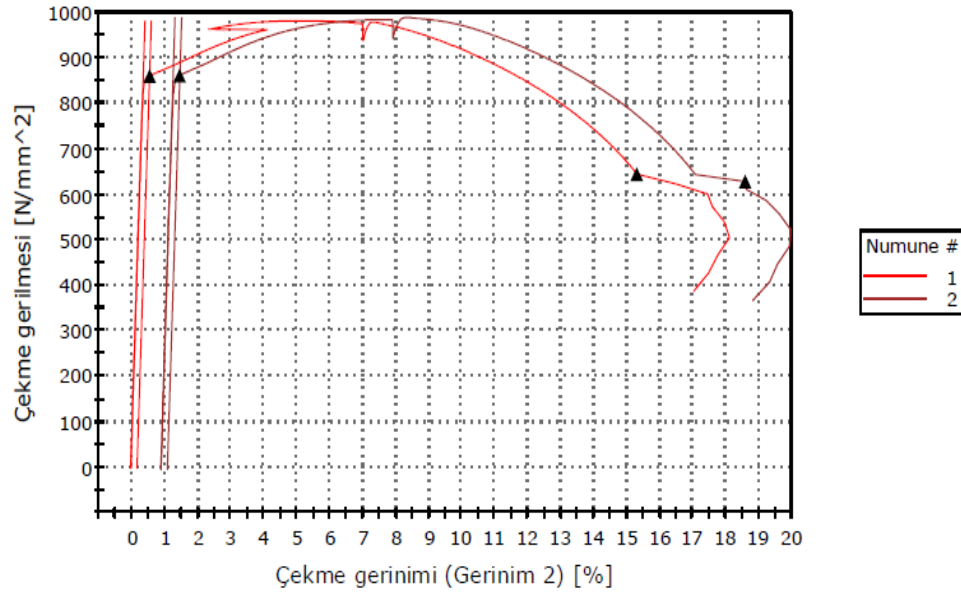
Standart

EN ISO 6892-1

Numune

42CrMo4

## Numune 1 ile 2 arası



	Akma Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Çekme Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	859,93484	981,09814	< 15,29752	76.440,05469
2	860,38953	987,78461	< 17,66416	76.652,25000

Şekil 4.21. Dövme işlemi yapılmış ve ıslah edilmiş numunenin çekme testi sonucu



Numune No  
5

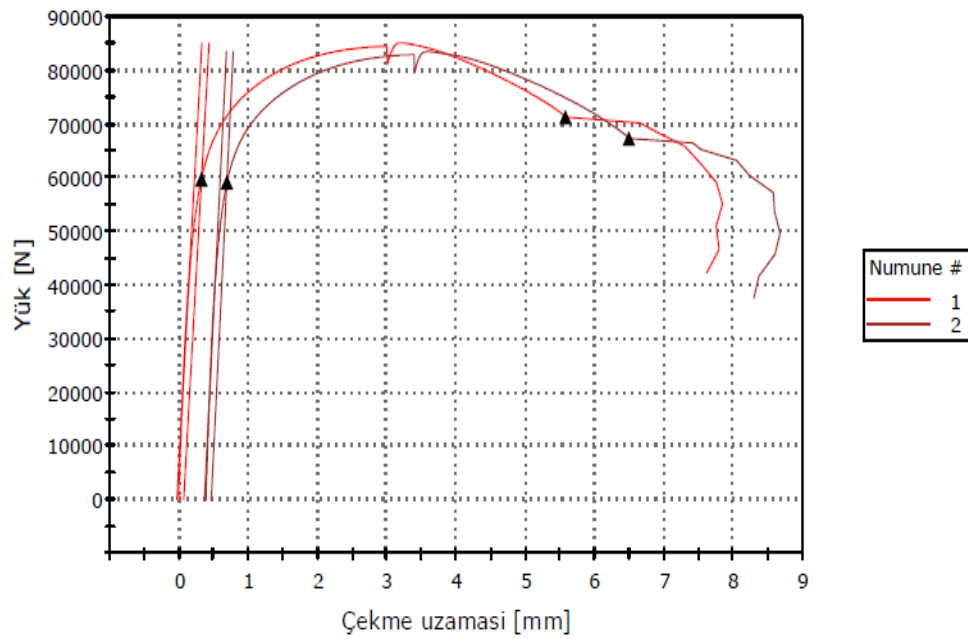
Yöntem tanımı

Numune Tanımı  
25X25mm DÖVÜLMÜS ISLAH EDILMEMİS( HAM MALZEME ÇAP 50mm)

Standart  
EN ISO 6892-1

Numune  
42CrMo4

Numune 1 ile 2 arası



	Akma Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Çekme Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	783,33736	1,116,16455	< 11,13606	85,053,17969
2	774,45998	1,092,60413	< 12,18736	83,426,98438

Şekil 4.22. Dövme işlemi yapılmamış, ısı işlem görmüş numunenin çekme testi sonucu



Numune No  
6

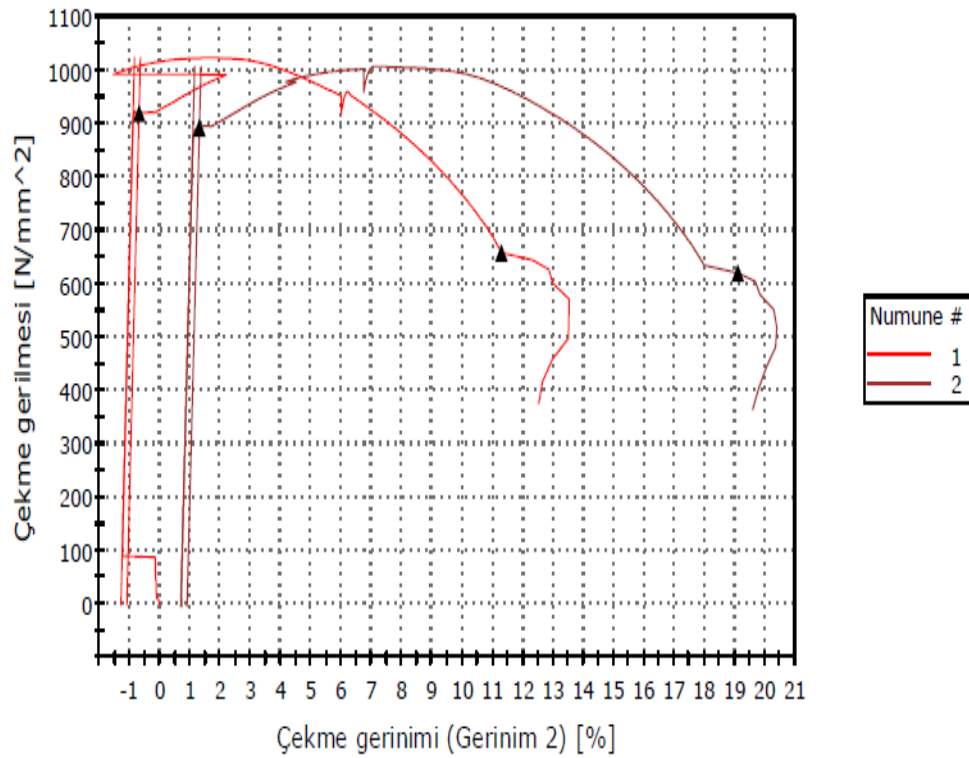
Yöntem tanımı

Numune Tanımı  
25X25mm DÖVÜLMÜS ISLAH EDİLMİS( HAM MALZEME ÇAP 50mm)

Standart  
EN ISO 6892-1

Numune  
42CrMo4

### Numune 1 ile 2 arasi



	Akma Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Çekme Gerilmesi [N/mm <sup>2</sup> ]	Toplam % Uzama [%]	Maksimum Yük [N]
1	918,01878	1.022,01440	< 11,29155	77.878,82031
2	891,37698	1.006,12097	< 18,33358	77.448,04688

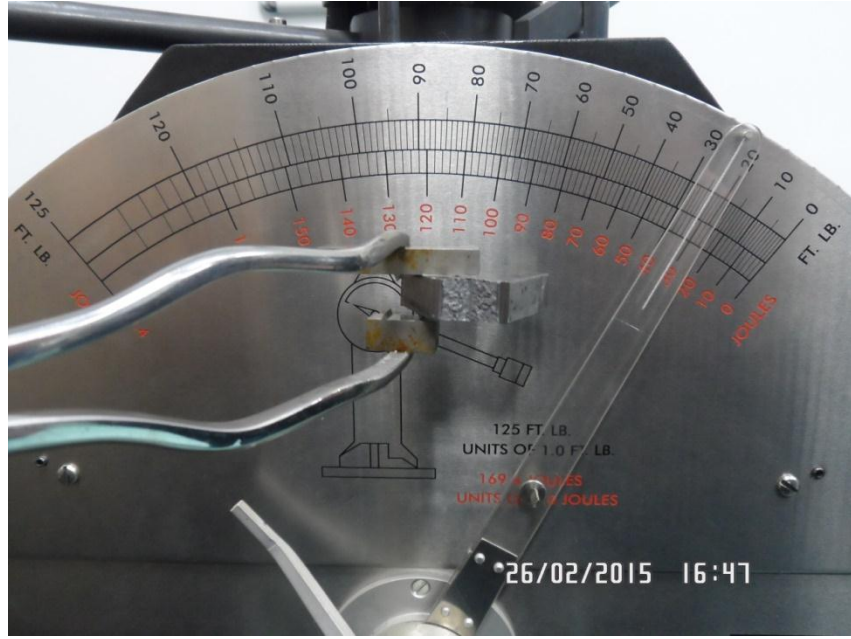
Şekil 4.23. Dövme işlemi yapılmış, ısıtılmış numunenin çekme testi sonucu

Deney numunelerinin çentik darbe testleri Tüvasaş Kalite Laboratuvarında TSE ISO 148 standardına göre INSTRON SI-1K3 Çentik Darbe Test Cihazında yapılmış olup test öncesinde çentik deney numuneleri üzerine BLACK CHARPY Çentik Açma Cihazında çentik açma işlemi yapılarak 2 mm derinliğinde V çentik açılmıştır. Çentikleri açılan numuneler TAMSON TLC 40 Numune Soğutma Cihazında 0 °C, -20 °C, -45 °C’de soğutulmuş ve 5 saniye içerisinde kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.4.’de çentik darbe testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Çentik darbe testi sonuçları

Numune	ÇENTİK DARBE DAYANIMI -45 <sup>0</sup> C 100 mm <sup>2</sup> (J)	ÇENTİK DARBE DAYANIMI -20 <sup>0</sup> C 100 mm <sup>2</sup> (J)	ÇENTİK DARBE DAYANIMI 0 °C 100 mm <sup>2</sup> (J)	ÇENTİK DARBE DAYANIMI 24 <sup>0</sup> C 100 mm <sup>2</sup> (J)
Ham Malzeme	23	30	41	55
Ham Malzemeye Isıl İşlem Uygulanmış	92	92	98	100
Ham Malzeme % 63 Oranında Redüksiyon Yapılmış	92	97	98	101
Ham Malzeme % 63 Oranında Redüksiyon ve Isıl işlem Yapılmış	91	95	105	107
Ham Malzeme % 74 Oranında Redüksiyon Yapılmış	5,5	8	7	8
Ham Malzeme % 74 Oranında Redüksiyon ve Isıl işlem Yapılmış	5,4	7	8	9

Aşağıda 6 adet deney numunesinin kırma işlemi sonucu durumları gösterilmiştir.

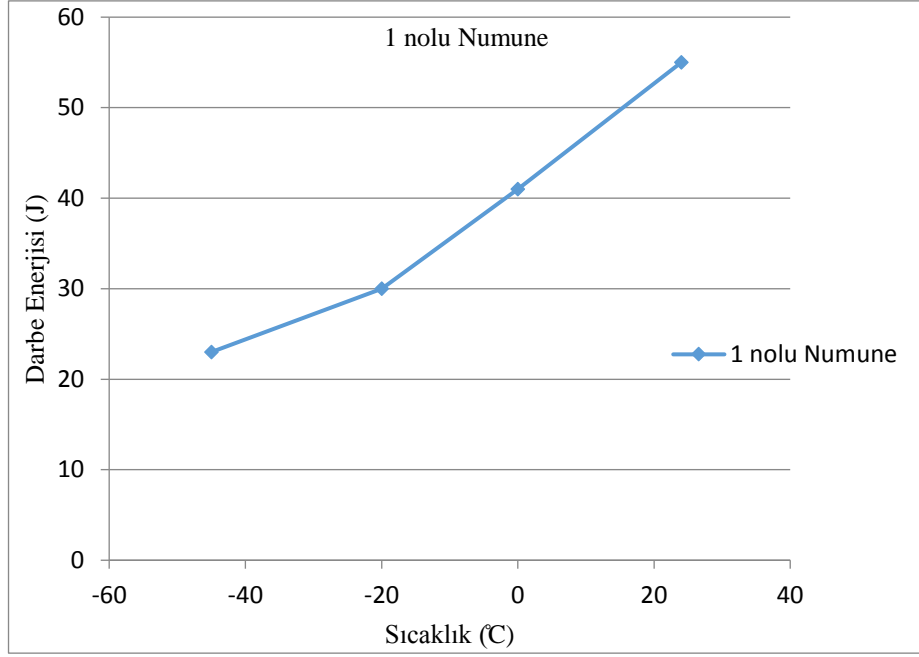


Şekil 4.24. 1 nolu numunenin çentik darbe testi

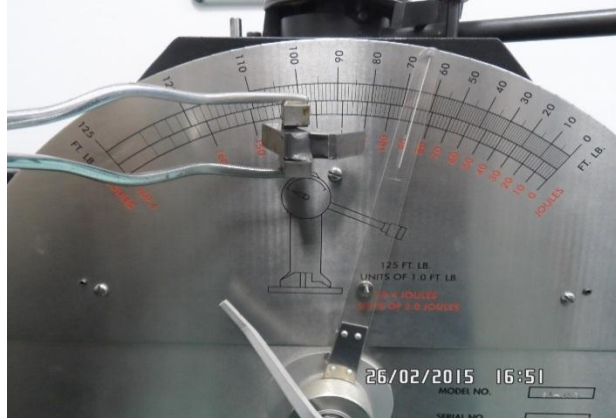


Şekil 4.25. 1 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları





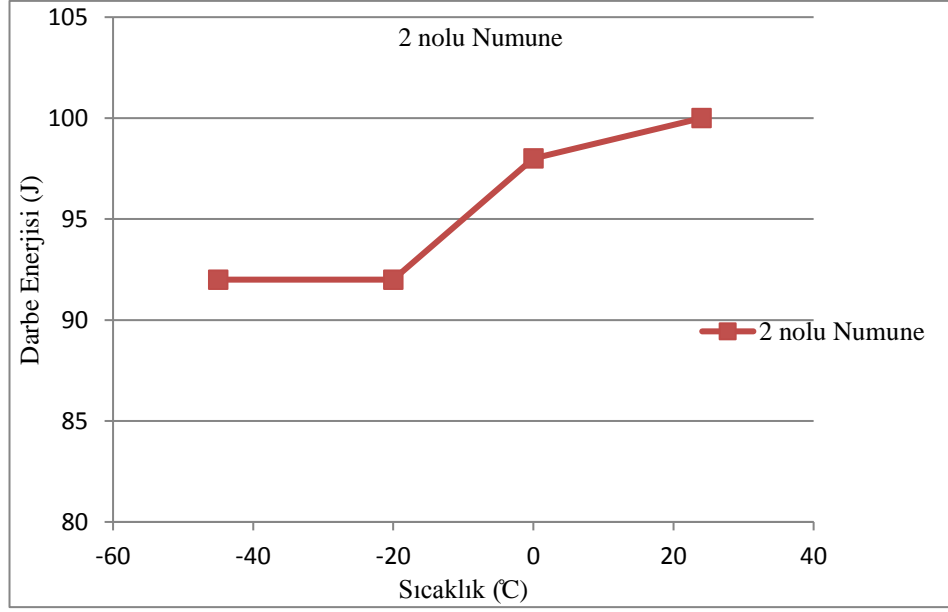
Şekil 4.26. 1 nolu numunenin sıcaklık- kırılma enerjisi diyagramı



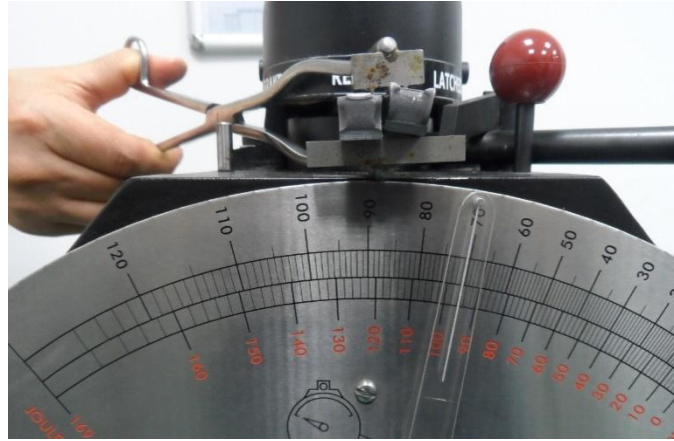
Şekil 4.27. 2 nolu numunenin çentik darbe testi



Şekil 4.28. 2 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



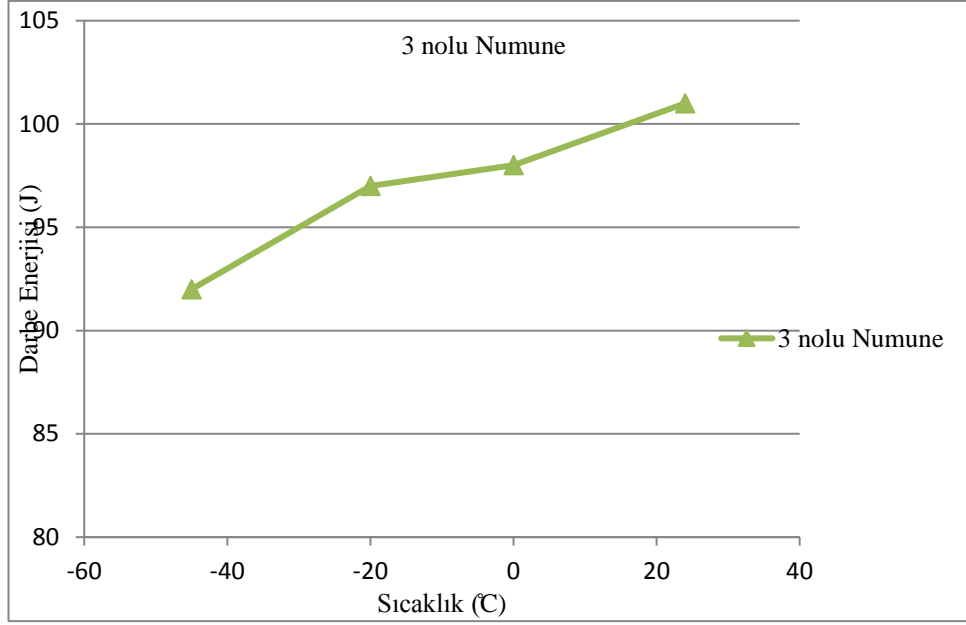
Şekil 4.29. 2 nolu numunenin sıcaklık- kırılma enerjisi diyagramı



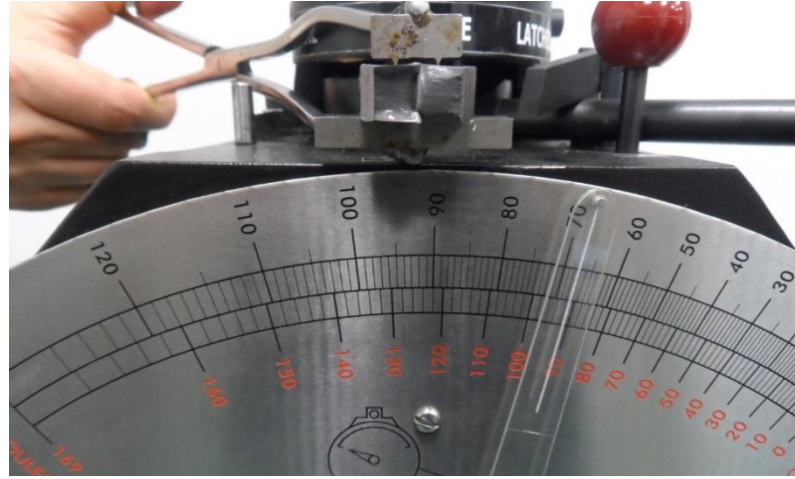
Şekil 4.30. 3 nolu numunenin çentik darbe testi



Şekil 4.31. 3 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



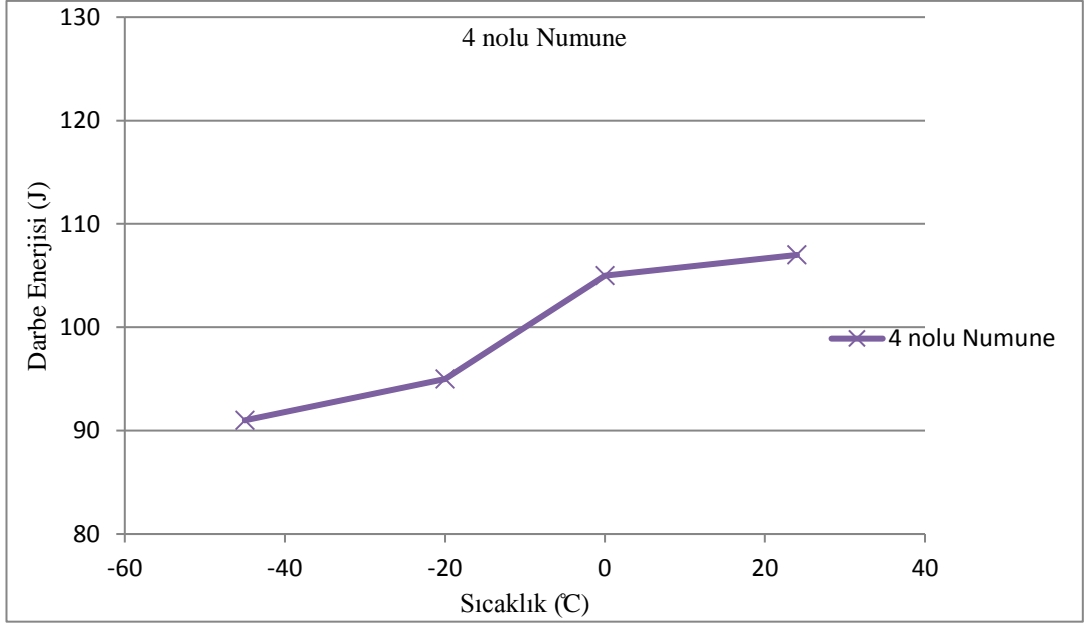
Şekil 4.32. 3 nolu numunenin sıcaklık- kırılma enerjisi diyagramı



Şekil 4.33. 4 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



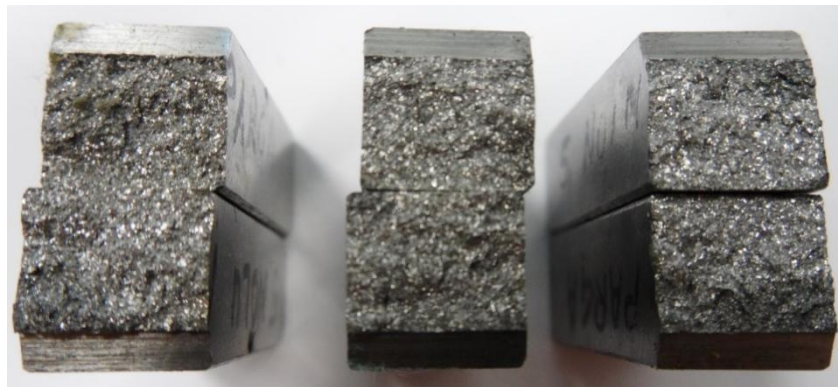
Şekil 4.34. 4 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



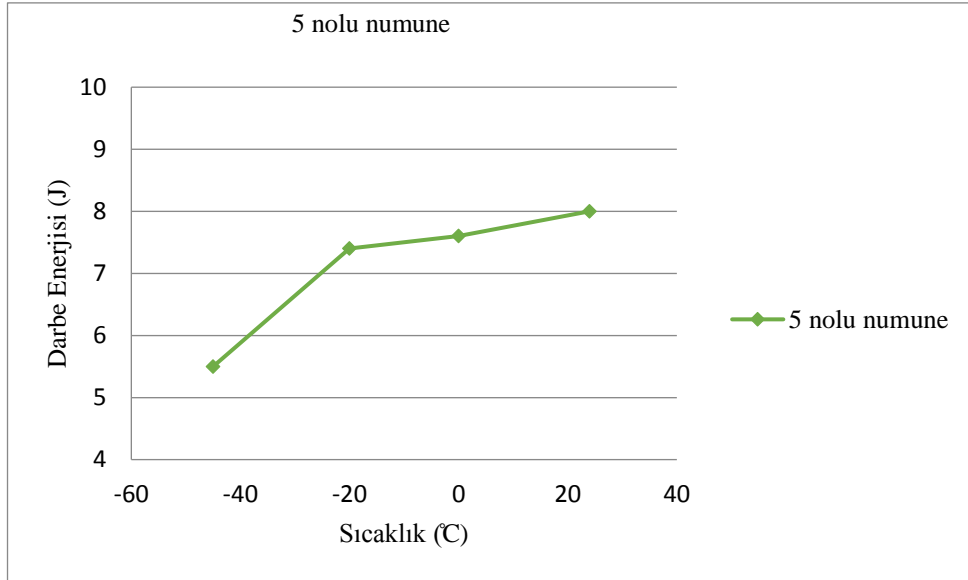
Şekil 4.35. 4 nolu numunenin sıcaklık- kırılma enerjisi diyagramı



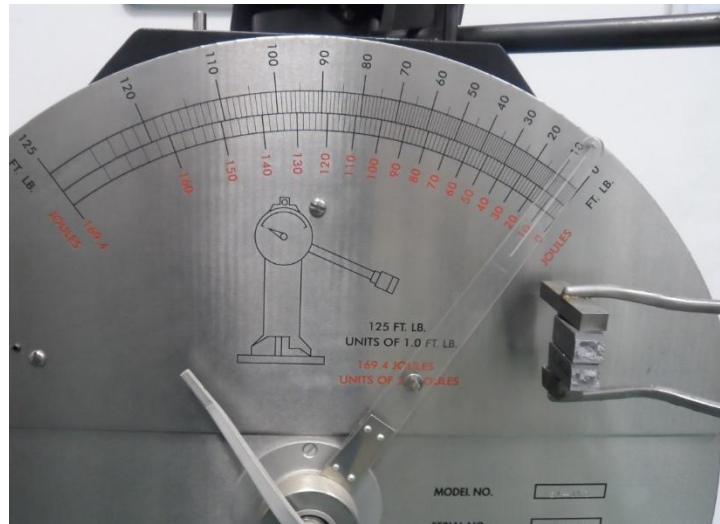
Şekil 4.36. 5 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



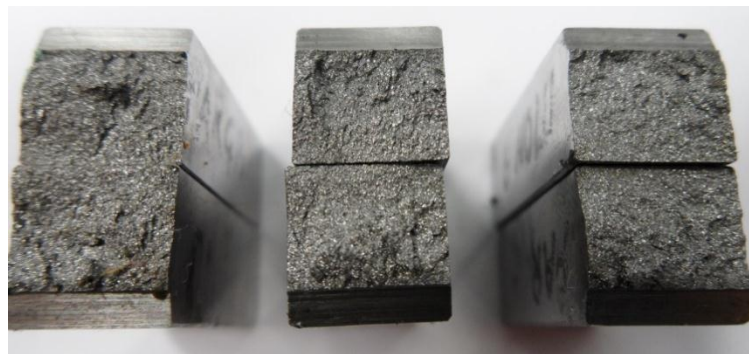
Şekil 4.37. 5 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



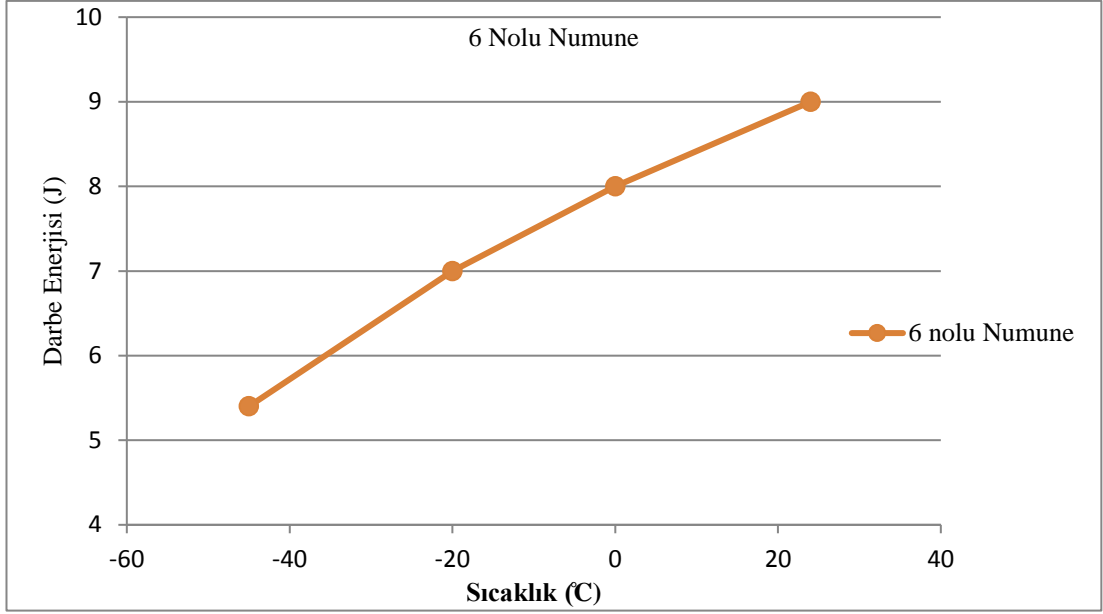
Şekil 4.38. 5 nolu numunenin sıcaklık- kırılma enerjisi diyagramı



Şekil 4.39. 6 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları

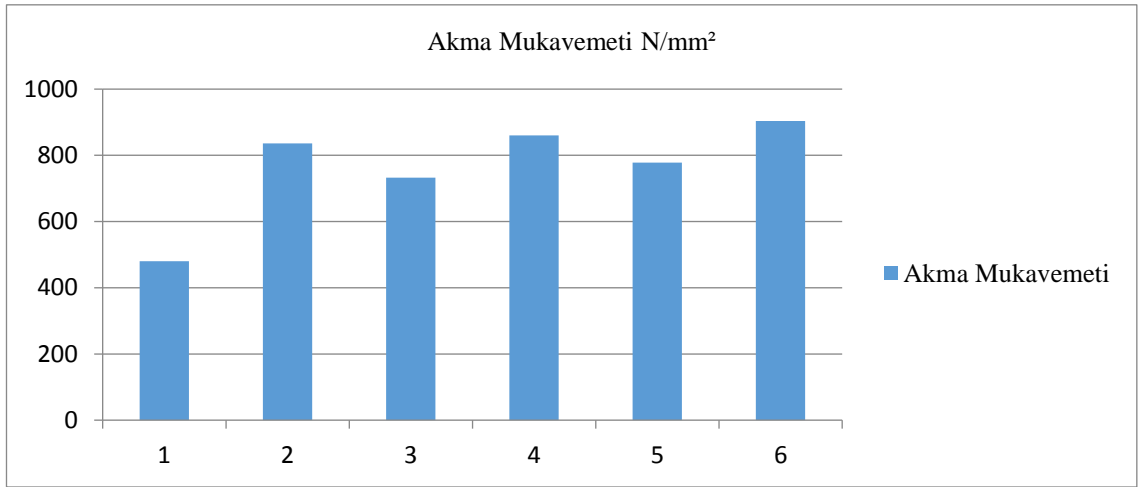


Şekil 4.40. 6 nolu numunenin çentik darbe testinde kırılan parçaları



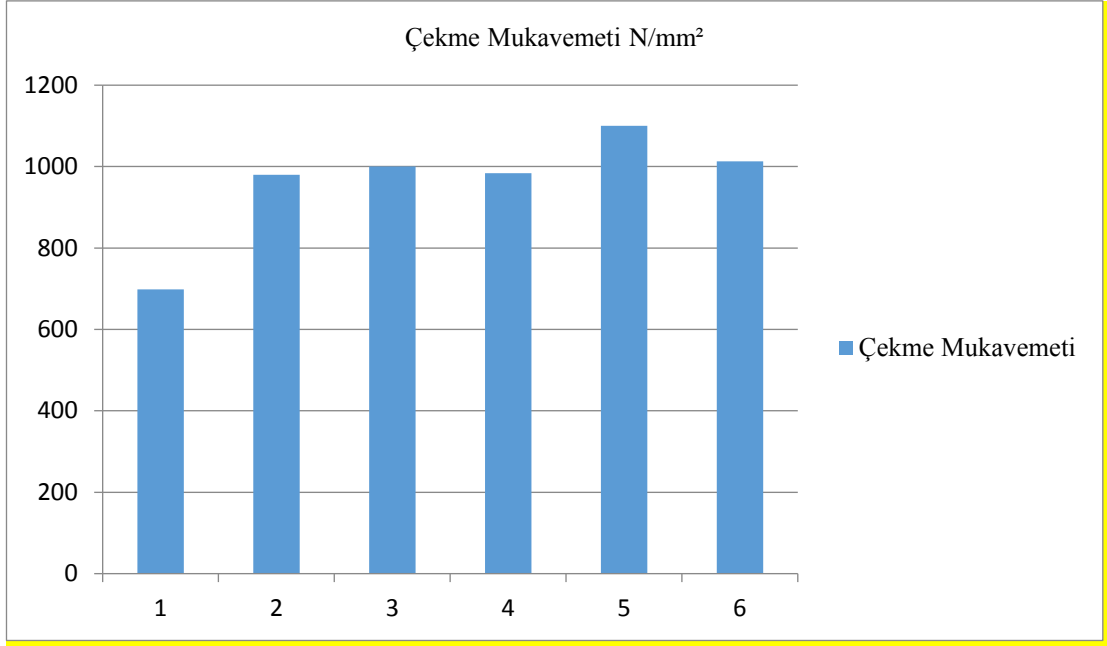
Şekil 4.41. 6 nolu numunenin sıcaklık- kırılma enerjisi diyagramı

Şekil 4.42.'de 6 adet deney numunesinin oda sıcaklığındaki akma mukavemeti değerleri verilmiştir.



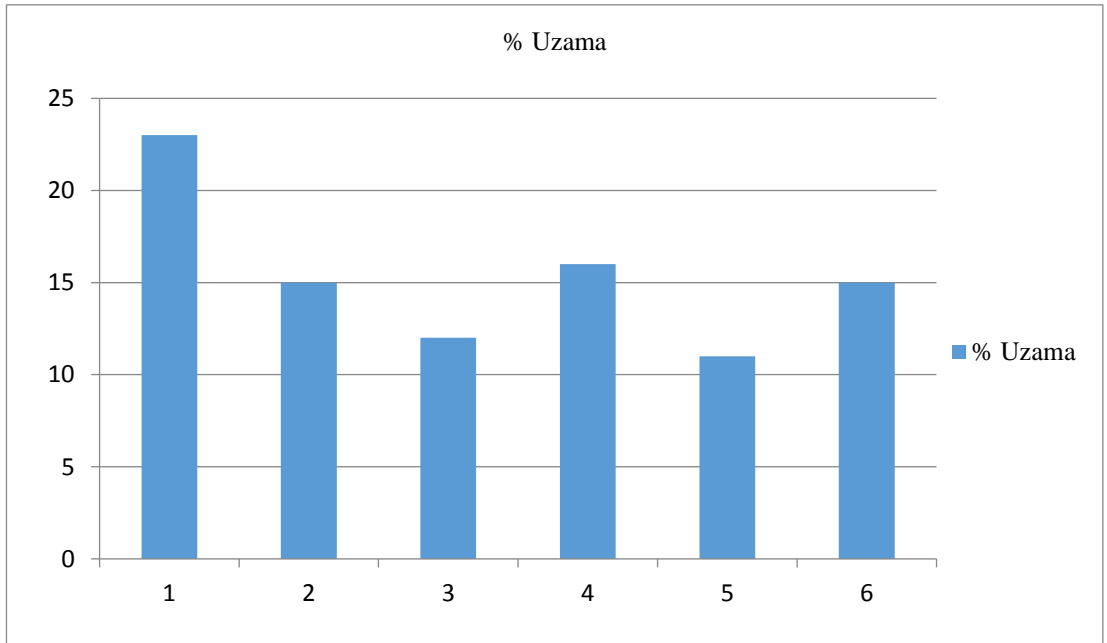
Şekil 4.42. Deney numunenin akma mukavemetleri

Şekil 4.43.'de 6 adet deney numunesinin oda sıcaklığındaki çekme mukavemet değerleri verilmiştir.



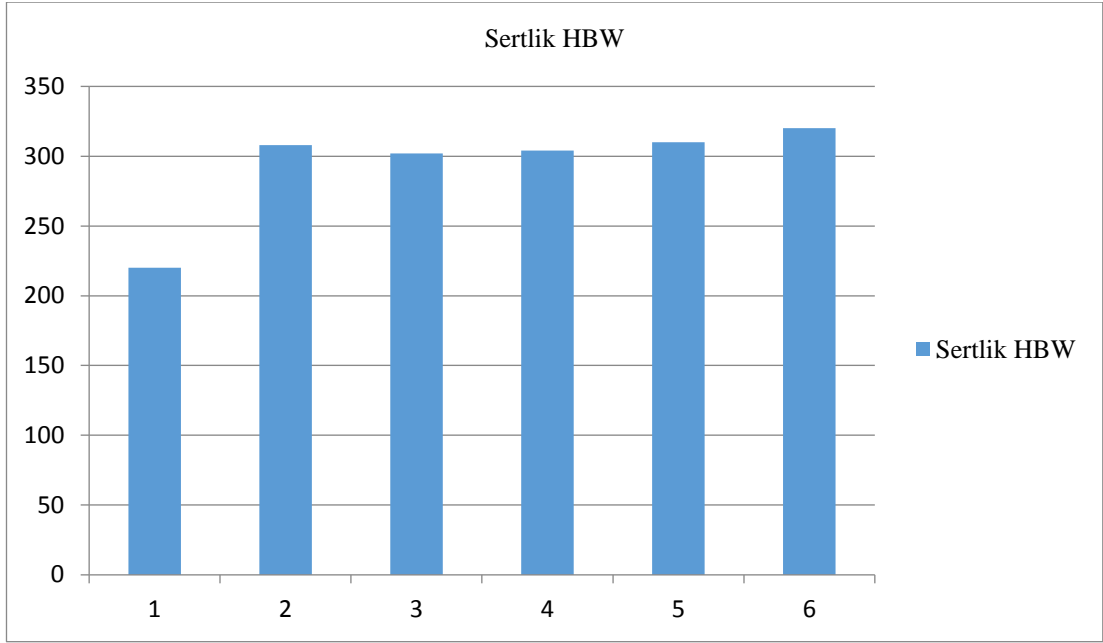
Şekil 4.43. Deney numunesinin çekme mukavemetleri

Şekil 4.44.'de 6 adet deney numunesinin çekme testi sonuçlarından elde edilen % uzama değerleri verilmiştir.



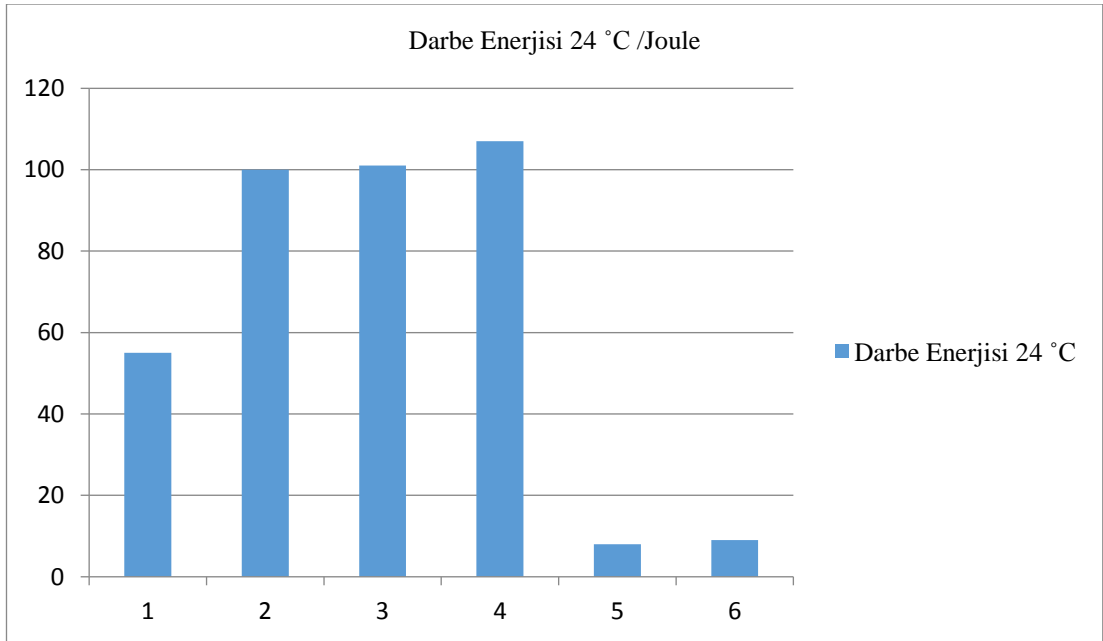
Şekil 4.44. Deney numunesinin % uzama miktarları

Şekil 4.45.'te 6 adet deney numunesinin HBW 2.5/187.5 yönteminde sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 4.45. Deney numunelerinin HBW sertlik değerleri

Şekil 4.46.'da 6 adet deney numunesinin oda sıcaklığındaki çentik darbe enerjileri gösterilmiştir.

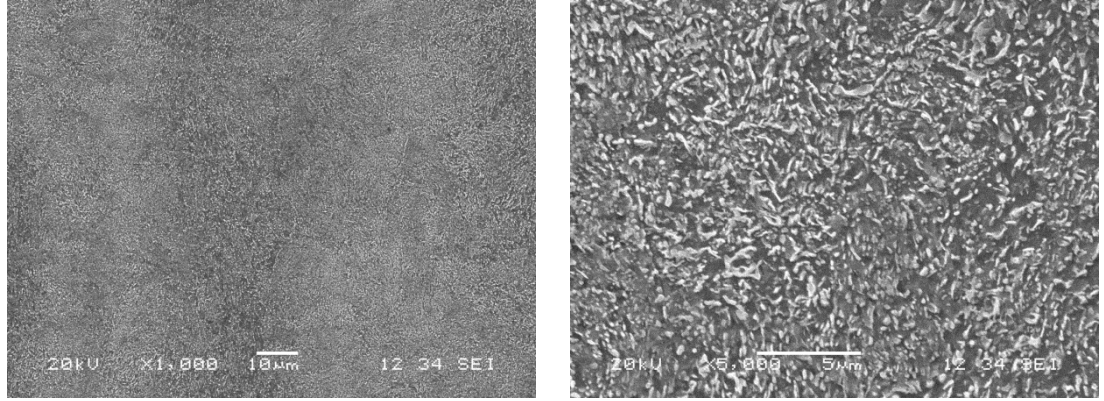


Şekil 4.46. Deney numunelerinin darbe enerjileri



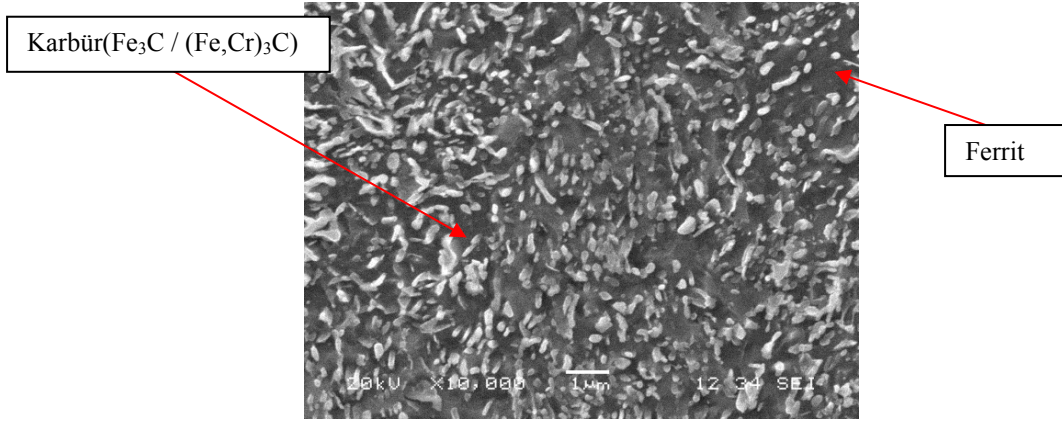
#### 4.4. SEM Mikroyapı Görüntüleri

Aşağıdaki şekillerde deneyde kullanılan 6 adet numunenin farklı büyütmelelerdeki sem mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



(a)

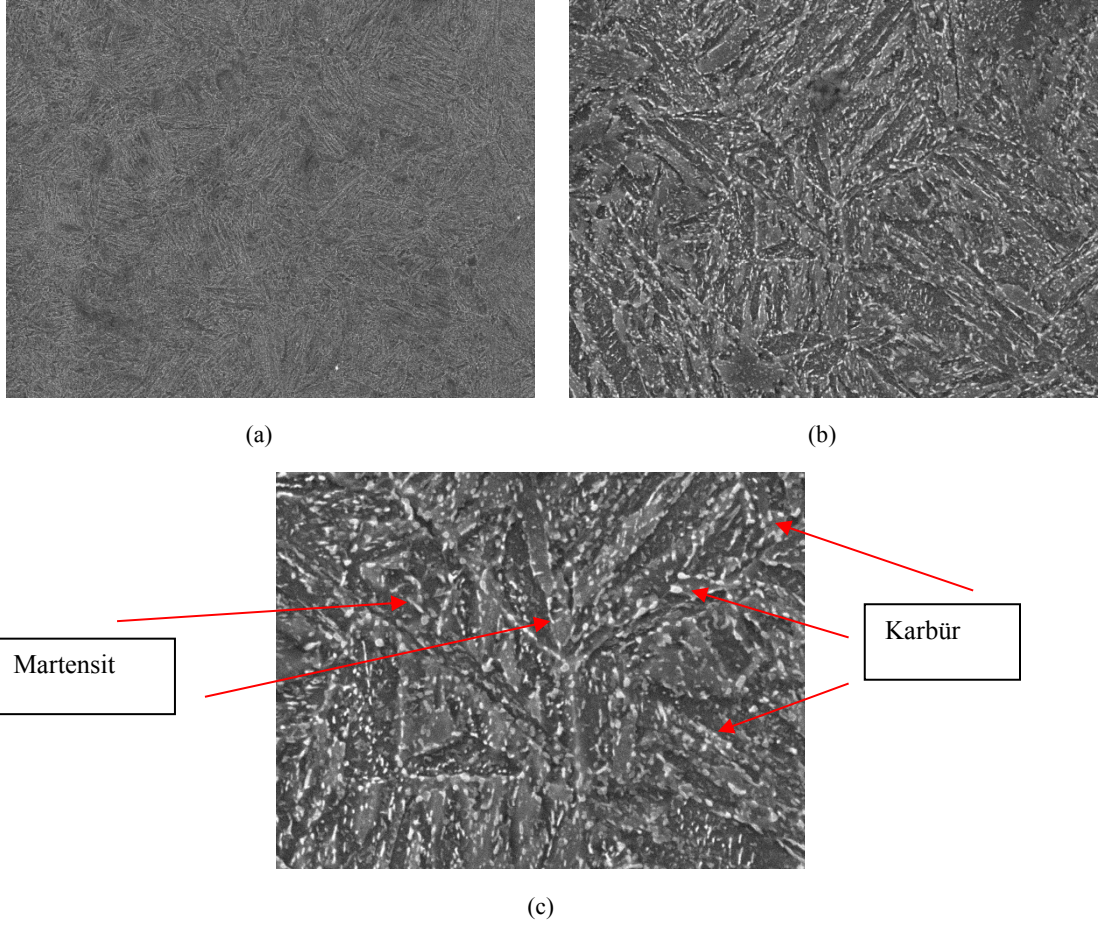
(b)



(c)

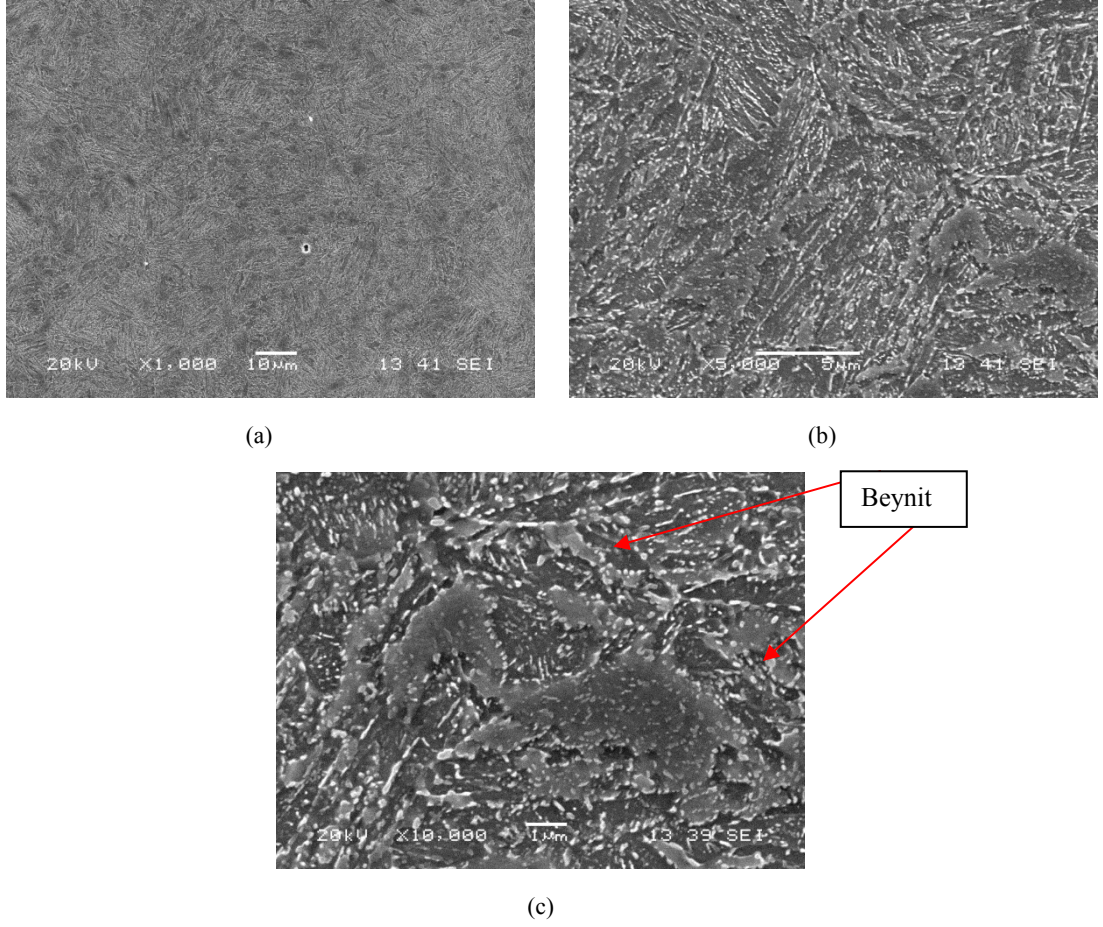
Şekil 4.47. 1 nolu numune (a)1000X, (b)5000X, (c)10000X SEM görüntüsü

Ferrit matriste dağılmış ince karbürler görülmektedir.



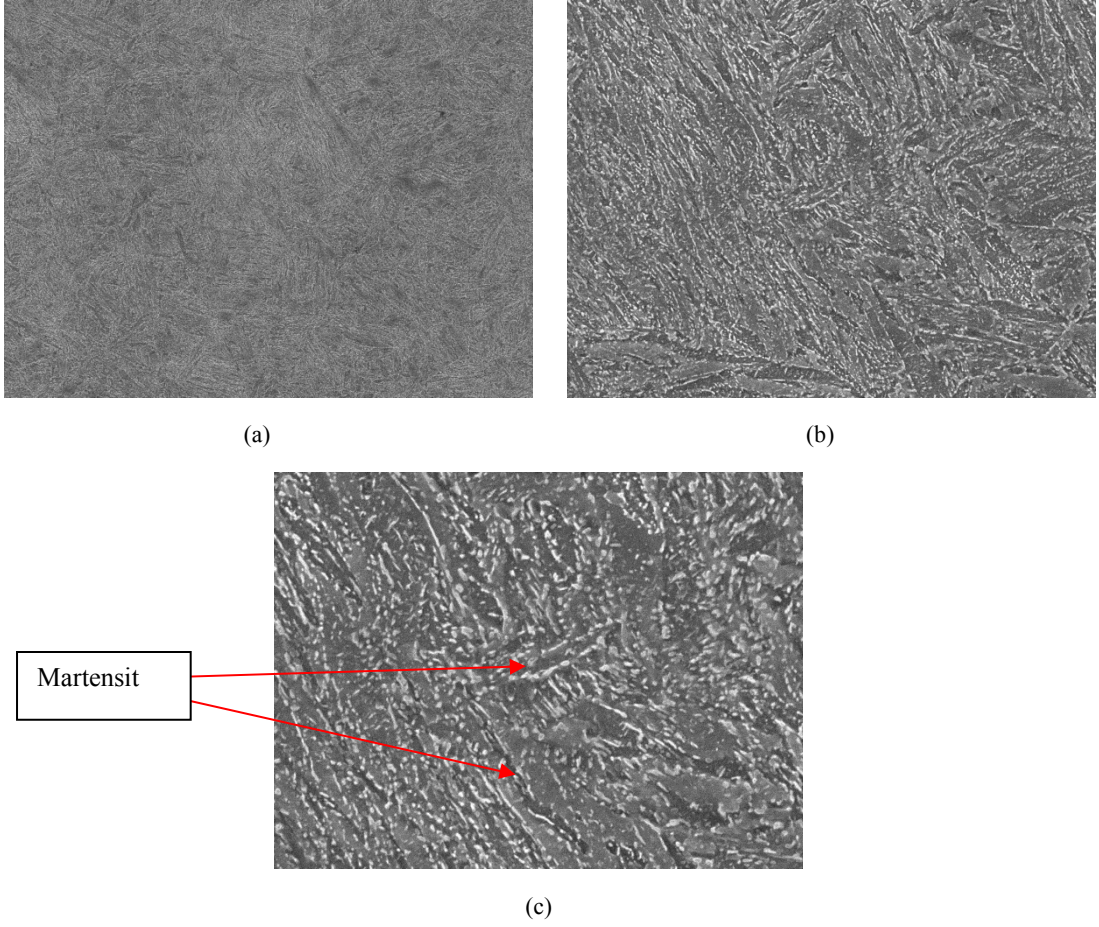
Şekil 4.48. 2 nolu numune (a)1000X, (b)5000X, (c)10000X SEM görüntüsü

Temperlenmiş martensit yapısı görülmektedir. Martensit çubukları üzerinde çökelmiş karbürler görülüyor.



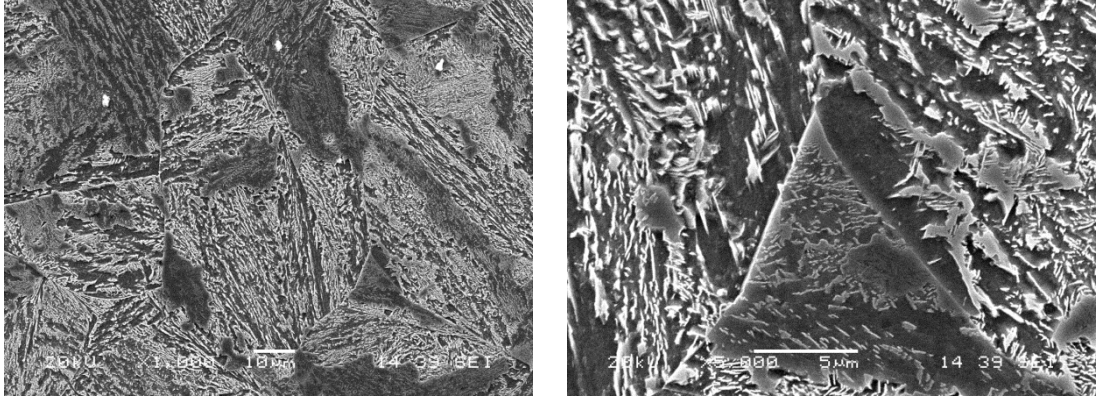
Şekil 4.49. 3 nolu numune (a)1000X, (b)5000x, (c)10000x SEM görüntüsü

Çeliğin dövme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulması sırasında oluşmuş beynitik dönüşümler görülmektedir. Ferrit tane sınırları boyunca sementit çökmesi görülüyor.



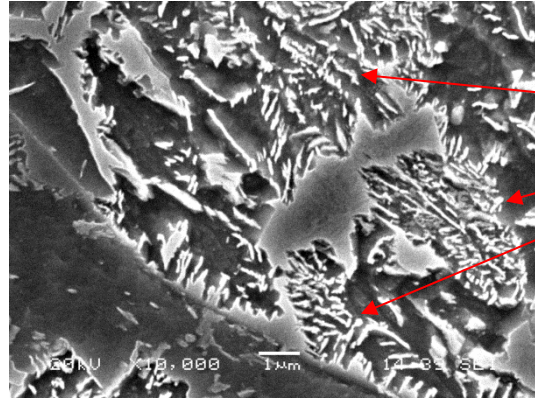
Şekil 4.50. 4 nolu numune (a)1000X, (b)5000x, (c)10000x SEM görüntüsü

Martensit yapı görülüyor. Fakat martensit ince taneli ve martensit çubukları bozulmaya başlamış.



(a)

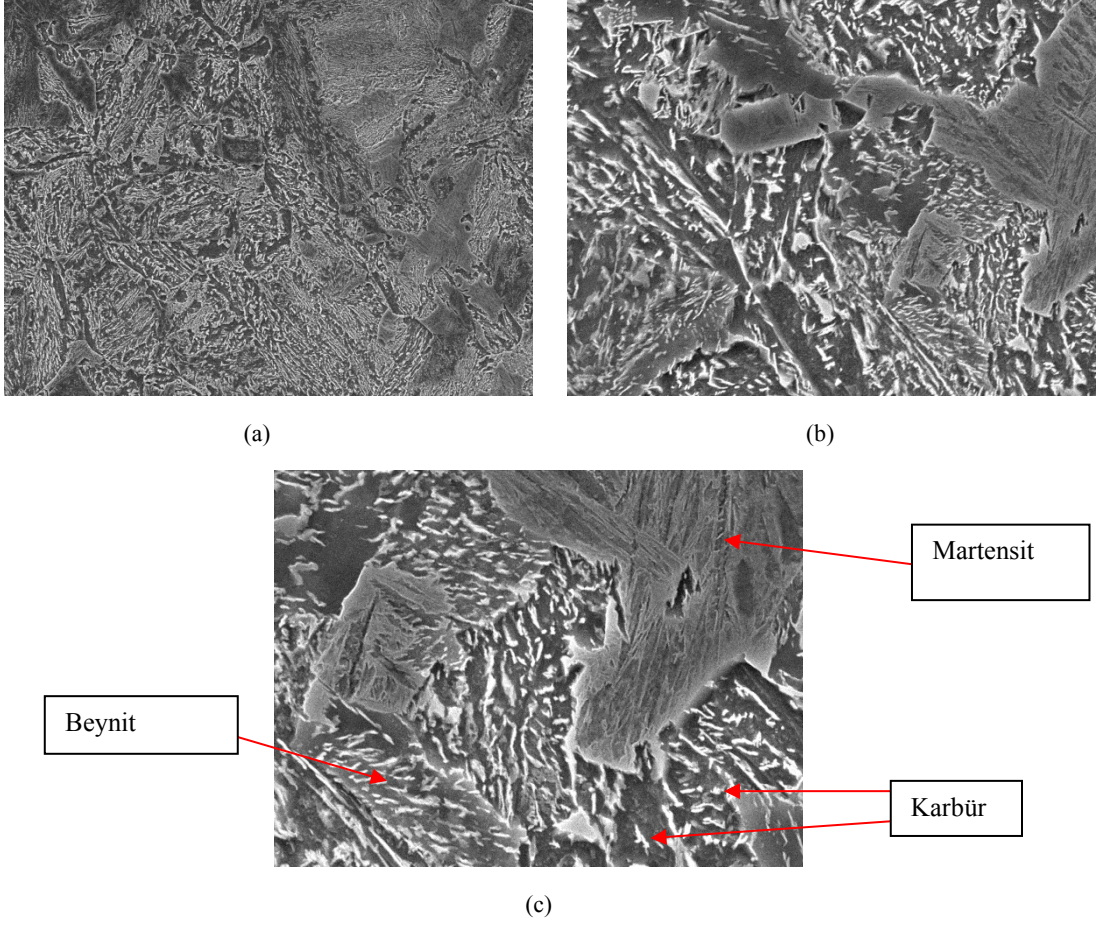
(b)



(c)

Şekil 4.51. 5 nolu numune (a)1000X, (b)5000x, (c)10000x SEM görüntüsü

Yapı % 80 oranında beynit mevcuttur. Üst beynit bariz olarak gözükmektedir.



Şekil 4.52. 6 nolu numune (a)1000X, (b)5000x, (c)10000x SEM görüntüsü

Resimdeki martensit – beynit karışımı bir yapı mevcuttur. Yaklaşık % 50 beynit (gri mat bölgeler) var. Diğer kısımlar martensittir. Ferrit matriste ince karbür dağılımı mevcuttur.

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada dövme ve ısıtım işlem proseslerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Dövme prosesi açık kalıpta yapılmıştır. Deneyde 6 adet farklı numune tahribatlı testlerle analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir. Tablodaki değerler ham malzeme referans alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Uygulanan işlem	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	% Uzama	Sertlik	Çentik Darbe Drençi (oda)
Isıtım işlem	% 74 ↑	% 40 ↑	% 64 ↓	% 40 ↑	% 81 ↑
%63 oranında dövülmüş	% 52 ↑	% 43 ↑	% 52 ↓	% 37 ↑	% 83 ↑
%63 oranında dövülmüş ve ısıtım işlem görmüş	% 79 ↑	% 40 ↑	% 69.5 ↓	% 38 ↑	% 94 ↑
%74 oranında dövülmüş	% 62.5↑	% 57 ↑	% 47.8 ↓	% 41 ↑	% 145 ↓
%74 oranında dövülmüş ve ısıtım işlem görmüş	% 88 ↑	% 45 ↑	% 65 ↓	% 45 ↑	% 144 ↓

Analiz sonuçlarında dövme ve ısıtım işlem prosesi akma mukavemetini, çekme mukavemetini ve sertliği önemli derecede arttırmıştır. Ancak bununla birlikte sünekliği azaltmıştır.

Çentik darbe direncini ısıtma işlemi ve % 63 oranında dövme prosesi önemli derecede düşürmüştür, ısıtma işlemi ve %74 oranında dövme ise darbe direncini önemli ölçüde düşürmüştür.

Çentik darbedeki düşüşün nedeni ise dövmede redüksiyon oranının kritik değerin üzerine çıktığından olumsuz yönde olduğu düşünülmektedir.

Raylı sistemlerde kullanılan dövme parçalarında deformasyon oranı % 74'de çıkması durumunda dövme parçası gevrekleşeceğinden çentik darbe enerjisi ciddi anlamda düşecektir. Bu sebeple deformasyon oranının % 74'e çıkması önerilmez. Ancak % 63 oranında deformasyon raylı sistemlerde kullanılan çelik parçaların mekanik dayanımlarını önemli derecede arttıracığından bu deformasyon oranı ile çalışabilir.

Dövme konusunda akademik çalışma yapmak isteyen araştırmacılara tavsiyem deformasyon oranının % 63-%74 arasında çalışarak çentik darbedeki bu ciddi düşüşlerin kademeli mi yoksa kritik bir değerde mi gerçekleştiği araştırılabilirler.



## KAYNAKLAR

- Çapar, 2005. Dövme amaçlı üretilen mikro alaşımlı çeliklerde dövme ve farklı soğuma şartlarının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi.
- Çimenoğlu, H. ve Şeşen, K. 2003. Çelik Seçimi. Metalurji Mühendisleri Odası
- Kayalı, E. S. ve Ensari, C. 2000. Metallere Plastik Şekil Verme İlke Ve Uygulamaları. 3. Baskı. İstanbul Teknik Üniversitesi
- Kesti, 2009. Ç-4140 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Köse, S. 2008. AISI/SAE 1040-2738-304 Çeliklerin Sertleşme Kabiliyetlerinin Jominy Deneyi ile Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Krauss, G. 1997. Steel; Heat Treatment and Processing Principles, Materials Park Ohio, 548, USA.
- Krauss, G. 1980. Principles of Heat Treatment of Steel. American Society for Metals, Metals Park Ohio, 405-435, USA
- Krauss, G. 2005. Steel: Processes, Structure and Performance. ASM International, ISBN: 0-87170-817-5, Materials Park Ohio, 44073-0002
- Serim, İ. Dövme Sanayii Teknolojisi TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No.97.
- Ulutan, M. (2007). Ç-4140 Çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Voort, G. F. V. 1999. Microstructure of Ferrus Alloys.  
<http://www.georgevandervoort.com/metallography/general/iron-andsteel/20001270-%20microstructure-of-ferrous-alloys.html> (Erisim tarihi: 18.05.2017)
- Yeşildal, R., Şen, S. ve Kaymaz, Ş. 2003. "X40CrMoV 5 1 Çeliğinin 20-600 °C Arasındaki Yorulma Davranışı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:5, Sayı:1,159-171, İzmir.

- Topbaş, M. A. 1998. elik ve Isıl İşlem El Kitabı. Prestij Yayıncılık Basım Hizmetleri, 75-96,593, İstanbul. Topbaş, M.A. 1993. Isıl İşlemler. Prestij Yayıncılık Basım Hizmetleri, 206-220, İstanbul.
- Totten, G.E. 2007. Steel heat treatment. Metallurgy and Technologies, Chapter 9 Quenching and Quenching Technology, CRC press Taylor & Francis Group Portland, Oregon, USA.
- Wilsforf, H.G.F. 1983. The ductile fracture of metals: a microstructure viewpoint. Materials Science and Engineering, Volume 59, 1-19. doi:10.1016/0025-5416(83)90085-X

## ÖZGEÇMİŞ

Recai GÜLER, 1986 Geyve’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Geyve’de tamamladı. 2003 yılında Geyve Mesleki ve Teknik Lisesi’nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metal Öğretmenliği Bölümü’nü 2010 yılında tamamladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı. 2011 yılında TÜVASAŞ’ ta çalışmaya başladı. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne başladı. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Halen TÜVASAŞ Kalite ve Standardizasyon Dairesi’nde tahribatlı ve tahribatsız muayene personeli olarak çalışmaktadır.