

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBONİTRÜRLENMİŞ DKP SACININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Müh. Seçil EKŞİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin CÖMERT**

**Temmuz 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBONİTRÜRLENMİŞ DKP SACININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Müh. Seçil EKŞİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT**

**Bu tez 18 / 07 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı  
Prof. Dr. Hüseyin CÖMERT**

**Üye  
Yrd. Doç. Dr. Yavuz  
SOYDAN**

**Üye  
Doç. Dr. Sakin ZEYTİN**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada karbonitrürlenmiş DKP saclarının mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmanın yürütülmesinde verdikleri destekten ve yaptığı öncülüğünden dolayı, değerli danışmanlarım Prof. Dr. Hüseyin CÖMERT ve Doç. Dr. Kenan GENEL'e teşekkürlerimi sunuyorum. Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı İsmail ÇALLI'ya ve deneysel çalışmalar için gerekli olan cihazları kullanmama izin veren Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Cuma BİNDAL'a teşekkür ederim. Deneyleri yapmamda yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Gözde ÇELEBİ EFE ve laboratuvar çalışanları Ersan DEMİR ve Metin GÜNAY'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımın büyük bölümünü yaptığım FEDERAL ELEKTRİK Yatırım ve Ticaret A.Ş.'in de verdikleri destekten dolayı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım boyunca benden desteğini esirgemeyen sevgili eşim Mak. Müh. Osman EKŞİ'ye teşekkür ediyorum. Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emekleri geçen anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Seçil EKŞİ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ÖZET .....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....	3
2.1. Termokimyasal Yüzey Sertleştirme Yöntemleri.....	3
2.1.1. Sementasyon (Karbürleme).....	3
2.1.2. Nitrürleme.....	5
2.1.3. Karbonitrürleme.....	7
2.1.4. Ferritik nitrokarbürleme.....	7
2.1.5. Borlama.....	8
2.2. Termik Yüzey Sertleştirme Yöntemleri.....	8
2.2.1. Alevle yüzey sertleştirme.....	9
2.2.2. İndüksiyonla yüzey sertleştirme.....	9
BÖLÜM 3.	
KARBONİTRÜRLEME.....	11
3.1. Karbonitrürleme İşlemi ve Yöntemleri.....	11
3.1.1. Karbonitrürleme atmosfer yapısı.....	14

3.1.2. Sıcaklığın seçimi.....	15
3.1.3. Kalıntı ostenitin kontrolü.....	15
3.2. Karbonitrür Kabuk Kalınlığının Yorulma Dayanımına Etkisi.....	16
3.3. Karbonitrürlenebilen Malzemeler ve Karbonitrürlerin Özellikleri.....	16
3.4. Karbonitrürlenmiş Kabuğun Özellikleri .....	17
3.5. Karbonitrürlemenin Uygulamaları.....	18
3.6. Avantajları.....	18
3.7. Dezavantajları.....	19
3.8. Güvenlik.....	20
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>21</b>
4.1. Giriş.....	21
4.2. DeneYlerde Kullanılan Çelikler.....	21
4.3. Karbonitrürleme İşlemi.....	22
4.4. Metalografik İncelemeler.....	22
4.5. Sertlik Ölçümleri.....	22
4.6. Çekme DeneYleri.....	23
4.7. Eğme DeneYleri.....	24
4.8. Tane Boyutu Ölçümü.....	26
4.9. EDS Analizleri.....	27
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>28</b>
5.1. Metalografik İncelemeler.....	28
5. 2. Sertlik Ölçümleri.....	32
5.2.1. Isıl işlem görmemiş sacların sertlik ölçümleri .....	32
5.2.2. Isıl İşlemlı sacların sertlik ölçümleri.....	32
5.3. Çekme DeneYi Sonuçları.....	39
5.4. Eğme DeneYi Sonuçları.....	40
5.5. Tane Boyutu Ölçüm Sonuçları.....	44

5.6. EDS Analiz Sonuçları.....	46
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR .....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	53

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Nitrüleme prosesi .....	6
Şekil 3.1. Gaz karbonitrüleme yönteminin şematik olarak gösterimi.....	12
Şekil 4.1. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı Shimadzu marka mikrosertlik cihazı.....	23
Şekil 4.2. Çekme numunesi.....	23
Şekil 4.3. Basit eğme deneyi düzeneği .....	24
Şekil 4.4. Çekme ve eğme deneylerinin yapıldığı Testometric 350 adlı cihaz.....	26
Şekil 5.1. a) Isıl işlemsiz 1.2 mm kalınlığındaki numunenin optik mikroyapısı, b) Isıl işlemsiz 2 mm kalınlığındaki numunenin optik mikroyapısı, c) Isıl işlemsiz 3 mm kalınlığındaki numunenin optik mikroyapısı .....	28
Şekil 5.2. 0.15 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 1.2 mm).....	29
Şekil 5.3. 0.17 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 1.2 mm).....	29
Şekil 5.4. 0.19 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 2 mm).....	30
Şekil 5.5. 0.20 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 2 mm).....	30
Şekil 5.7. 0.08 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 3 mm).....	31
Şekil 5.6. 0.12 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 3 mm).....	31
Şekil 5.8. Farklı kabuk kalınlıklarında karbonitrülen parçaların sertlik-derinlik grafiği ( Sac kalınlığı : 1.2 mm ) .....	34

Şekil 5.9. Farklı kabuk kalınlıklarında karbonitrürlenmiş parçaların sertlik-derinlik grafiği ( Sac kalınlığı : 2 mm ).....	36
Şekil 5.10. Farklı kabuk kalınlıklarında karbonitrürlenmiş parçaların sertlik-derinlik grafiği ( Sac kalınlığı : 3 mm ) .....	38
Şekil 5.11. 1.2 mm kalınlığındaki sacın ısıtılmış ve ısıtılmamış çekme deneyi grafiği .....	39
Şekil 5.12. 2 mm kalınlığındaki sacın ısıtılmış ve ısıtılmamış çekme deneyi grafiği .....	39
Şekil 5.13. 3 mm kalınlığındaki sacın ısıtılmış ve ısıtılmamış çekme deneyi grafiği .....	40
Şekil 5.14. 1.2 mm kalınlığındaki numunenin ısıtılmış ve ısıtılmamış eğme grafiği .....	41
Şekil 5.15. 2 mm kalınlığındaki numunenin ısıtılmış ve ısıtılmamış eğme grafiği .....	41
Şekil 5.16. 3 mm kalınlığındaki numunenin ısıtılmış ve ısıtılmamış eğme grafiği .....	42
Şekil 5.17. Isıtılmamış ve farklı kabuk kalınlıklarında işlem görmüş sacların eğme deneyine eğme gerilmesi –kabuk kalınlığının toplam kesitteki oranının yüzdesi grafiği .....	43
Şekil 5.18. Isıtılmamış ve 1050°C’de 2.5 saat tavlanaarak yağda soğutulmuş sacın eğme deneyi grafiği .....	44
Şekil 5.19. 1 saat süreyle farklı sıcaklıklarda tavlanamış sac numunelerinin optik mikroyapısı, (a)800 (b)900 (c)1000 (d)1100°C için.....	45
Şekil 5.20. Sıcaklığın, 1 saatlik tavlama süresi için sac malzemesinin tane boyutuna etkisi .....	46
Şekil 5.21. Isıtılmamış numunenin SEM görüntüsü (1500X) .....	47
Şekil 5.22. Isıtılmamış haddesiz numunenin SEM görüntüsü (9500X)...	47
Şekil 5.23. Şekil 5.22’deki 1 nolu noktanın EDS analizi.....	47
Şekil 5.25. Şekil 5.22’deki 2 nolu noktanın EDS analizi .....	48



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Deneyleerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşim (% ağırlık) ve mekanik özellikleri.....	22
Tablo 4.2. ASTM tane boyut numarası (N)ve 100 büyütmedeki 1 inc <sup>2</sup> deki tane sayısı (n) .....	27
Tablo 4.3. Tane büyüklüğü ve ASTM tane numarası.....	27
Tablo 5.1. Isıl işlem görmemiş sacların sertlikleri .....	32
Tablo 5.2. 0.15 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 1.2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri.....	32
Tablo 5.3. 0.17 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 1.2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	33
Tablo 5.4. 0.19 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 1.2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	33
Tablo 5.5. 0.19 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	34
Tablo 5.6. 0.2 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	35
Tablo 5.7. 0.5 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	35
Tablo 5.8. 0.08 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 3 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	36
Tablo 5.9. 0.12 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 3 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	37
Tablo 5.10. 0.15 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenene 3 mm kalınlığındaki sacın sertlik değeri .....	37
Tablo 5.11. Farklı sıcaklıklarda tavlana sacların sıcaklığa bağılı tane boyutunun değışımi .....	45

## ÖZET

Anahtar kelimeler : Karbonitrüleme, Difüzyon, Sac, Çelikler

Karbonitrüleme prosesi çelik yüzeyine karbon ve azot atomlarının difüzyonunu içine alan termokimyasal bir difüzyon işlemidir. Karbonitrülemeyle, kabuk kalınlığı 0.075-0.75mm arasında değişen, sert, aşınmaya dayanıklı bir yüzey elde edilir. Gaz karbürlemeden daha düşük sıcaklıklarda (800-900 °C) ve sürelerde gerçekleştirilir. Metan ve propan karbon, amonyak ise azot kaynağıdır. Karbonitrüleme kaynağı gaz veya sıvı olabilir. Karbonitrülenmiş tabakanın özellikleri karbonitrülenen çeliğin bileşimine, karbonitrüleme sıcaklığına ve süresine bağlıdır.

Bu çalışmada, DKP saclarına gaz ortamda karbonitrüleme yapılmıştır. Farklı sac kalınlıklarındaki numunelere farklı kabuk kalınlığında karbonitrüleme yapılmıştır. Numunelerin ısıtılardan önce ve sonra mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca farklı sıcaklıklarda yapılan tavlama işlemi ile sıcaklığın tane boyutuyla ilişkisini saptamak amacıyla tane boyutu ölçülmüştür.

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CARBONITRIDED DKP SHEET IRON**

## **SUMMARY**

Keywords : Carbonitriding, diffusion, iron sheet, steels

Carbonitriding is a thermochemical diffusion process in which carbon and nitrogen atoms diffuse into the surface of steel. Carbonitriding is used primarily to produce a hard, wear-resistant case, generally from 0.075 to 0.75 mm deep. Carbonitriding is carried out at a lower temperature (800-900°C) and for a shorter time than gas carburizing, producing a shallower case than is usual in production carburizing. Methane or propane serve as the source of carbon, the ammonia serves as the source of nitrogen. Carbonitriding can be applied in gas and liquid mediums. The properties of carbonitrided layer depend on the composition of steels, carbonitriding temperature and time.

In this study, carbonitriding was carried out in a gas medium to DKP iron sheet. Carbonitriding is done to steels which have a different iron sheet thickness at different case deep. Mechanical properties of steels samples are investigated before heat treatment and after heat treatment. In order to find the effect of temperature on the grain size, the steel samples are heat treated at the different temperatures and then the grain size of the samples are measured.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesinin sonucu olarak ağırlaşan çalışma koşullarında kullanılan makine yapı elemanları ve malzemeleri, özellikle aşınma, erozyon, korozyon, yorulma, oksidasyon ve yüksek sıcaklığa dayanım konularındaki talepleri tam olarak karşılayamamaktadır. Malzemelerin kullanımı sırasında çevreyle olan etkileşimi öncelikle malzemenin yüzeyinde gerçekleştiğinden kullanılan malzemelerin performansı genel olarak kütle ve yüzey özelliklerine bağlıdır. Bundan dolayı yüzey mühendisliği ve yüzey işlem teknolojilerinde son yıllarda çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir [1, 2].

Yüzey işlemleri ile malzemelerin sertlik ve yorulma gibi mekanik, sürtünme ve aşınma gibi tribolojik, oksidasyon ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Yüzey işlemleri çoğunlukla demir esaslı malzemeler üzerine uygulanmaktadır. Bu işlemleri kaplama ve yüzey dönüşüm işlemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Kaplama metal yüzeyine bir element veya bileşiğin biriktirilerek bir tabaka oluşturması işlemi kapsamaktadır. Yüzey dönüşüm işlemlerinde ise, yüzeyin iç yapısı ve/veya bileşiminin değişmesi söz konusudur. Yüzey işlemleri daha ucuz ve daha kolay üretilen altlık malzemesinin yüzeyini çeşitli işlemlerle değiştirerek, istenilen özellikte malzeme elde edilmesini ve bunu çok amaçlı kullanarak ekonomik fayda kazanılmasını da sağlamaktadır. Bu işlemlerin en önemli avantajı, ucuz bir altlık malzeme yüzeyine yapılacak işlemlerle yüzey-ortam etkileşmesine dayanan optik, manyetik, elektrik, termal, kimyasal, korozyon, oksidasyon ve tribolojik gibi mühendislik özelliklerinin istenilen şekilde değiştirilebilmesidir [2].

Birbirleriyle temas halinde çalışan makine parçalarının yüzeylerinin sert, iç kısımlarının ise sünek olması istenir. Bu nedenle dış kısımları sertleştirilmiş, iç kısımları ise sünek durumda olan çelikler tercih edilir. Yüzey sertleştirme işlemleri sonucunda parçanın yüzey kısmında basma gerilmeleri (borlama yöntemi hariç), iç

kısımında ise çekme gerilmeleri oluşur. Bu nedenle yüzey sertleştirilmiş parçaların aşınma dayanımlarının yanı sıra yorulma dayanımları da yüksektir [3].

Yüzeyin serleştirilmesinde, normal şartlarda yeterli düzeyde sertlik elde edilemeyen çeliklerin yüzeyine karbon verilerek sertleştirme yapılabilir (sementasyon) veya yüzeyden sertlik arttırıcı element atomları nüfuz ettirilebilir (Nitrasyon). Ayrıca, iyi sertleşme kabiliyeti olan çeliklerin yüzeyinde, arzu edilen sertleşme derinliğine kadar olan kısmı ostenitleştirme sıcaklığına ısıtılarak ve ardından ani soğutma ile yalnızca bu bölgenin sertleştirilmesi yapılabilir (alevle ya da indüksiyonla sertleştirme). Yaygın olarak kullanılan bu yöntemlerin dışında, yüzeye bilya püskürterek, baskı parlatması yaparak, özel haddeleme uygulayarak soğuk şekillendirme ile de yüzey sertliği arttırılabilir. Yüzeyin kaynakla, püskürtmeyle ya da galvaniz kaplama (çinko kaplama) ile kaplanmasıyla da yüzeyde sert tabaka oluşturmak mümkündür .Yüzeyden karbon ve azot atomlarının yayınmasının sağlandığı ve sementasyon ile nitrülemeye göre bazı avantajları olan bir diğer yaygın kontrollü yüzey sertleştirme işlemi de karbonitrüledir [4].

Bu çalışmada, karbonitrülenmiş DKP sacların mekanik özellikleri incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ**

Yüzey sertleştirme yöntemleri, termokimyasal yüzey sertleştirme ve termik yüzey sertleştirme olarak ikiye ayrılır.

### **2.1. Termokimyasal Yüzey Sertleştirme Yöntemleri**

Karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme ve borlama gibi termokimyasal difüzyon işlemleri modern üretim teknolojisinde önemli rol oynar. Difüze olan elementin tipine göre farklılık gösterirler. Termokimyasal difüzyon işlemlerinde, karbon, azot ve bor gibi yabancı element atomları metal yüzeyine, malzemenin yüzey özelliklerini değiştirmek ve mukavemetini arttırmak için difüze ettirilir [5].

Bu suretle üretilen tabakalarla, malzemeler özel kullanım amacına uygun özellikler kazanır. Bu olay daha çok yüzeyin sertliğini ve aşınma dayanımını artırır [1].

#### **2.1.1. Sementasyon (Karbürleme)**

Karbürleme, az karbonlu ve az alaşımlı çeliklere uygulanarak parçalar üzerinde sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzey oluşturur. Çelik, mikroyapının ostenitik olduğu sıcaklıkta tutulur ve karbon çeliğin içine difüze ettirilir. Karbürleme yapılan sıcaklık 875 ila 950°C arasında değişir. Daha sonra çeliğe su verilir. Bunu takiben, kural olarak genellikle 150 ila 300°C arasında menevişleme yapılır [4, 6].

Endüstride yaygın olarak kullanılan katı, sıvı ve gaz halindeki karbon verici ortamlar, genel olarak her türlü parça için kullanılabilir. Katı karbon verici ortam (odun kömürü ve benzer karbon içerenler), daha çok el işçiliği gerektirir ve teknik olarak da daha zor uygulanır. Karbon verici gaz olarak, karbonmonoksit (CO) ve gaz formunda hidrokarbon içeren gaz karışımları kullanılır. Sıvı sementasyon ortamı

olarak, daha çok sodyumsiyanür ve potasyumsiyanür gibi karbon verici maddeleri içeren ergitilmiş tuzlardan yararlanır. Büyük boyutlu parçalarda ve düşük kapasitelerde daha çok katı ortam, küçük parçalarda ve seri üretimde ise daha çok sıvı ve gaz ortamları tercih edilmektedir. Gaz ortamda sementasyon işlemi, daha iyi kontrol temiz çalışma olanağı sağladığı için, daha pahalı yöntem olmasına karşın her geçen gün daha çok artan oranda tercih edilmektedir. Karbürleme işleminde, normal şartlarda yeterli düzeyde sertleşmeyen ve karbon miktarı en fazla %0.25 olan çeliklere, yüzeyden difüzyonla belirli bir derinliğe kadar karbon nüfuz ettirilir. Demir içerisinde karbonun difüzyon hızı oda sıcaklığında çok küçük, hatta sıfır olduğundan, karbonun kolayca nüfuz edebileceği ostenitik sahaya kadar çelik ısıtılmalıdır. Oda sıcaklığından itibaren sıcaklığın artmasıyla demir içerisindeki difüzyon hızının artması ve ferrit içerisinde difüzyon hızının ostenite nazaran yaklaşık 40-50 kat yüksek olmasına karşın, ferritte karbonun çözünebilirliğinin çok az olması nedeniyle, tam ostenitik sahaya çıkılması zorunludur. Krom ve benzeri alaşım elementleri karbonun difüzyon hızını azaltır. Sementasyon işleminden sonra, cidar bölgesindeki karbon miktarının yaklaşık % 0,7 ila 0,8 arasında olması mümkündür. Karbon alan cidar kalınlığı için kılavuz değer olarak, 930°C sıcaklıkta 4 saat sementasyon için 1 mm kabul edilebilir. Sementasyon derinliği teriminden, merkezdeki karbon miktarına ulaşılan kadar karbon alan cidar tabakasının kalınlığı anlaşılır. Su verme işlemi, tüm kesite su verilen çeliklerdeki işleme benzer olarak gerçekleştirilir. Deformasyonu az ani soğutma yöntemi olarak, çoğu zaman sıcak banyoda su verme tercih edilir. Sertleştirmede martensit teşekkülünden dolayı hacim artışı, karbonu zengin cidar bölgesinde, karbonu az çekirdeğe nazaran daha fazladır. Bu olay sonucunda, yüzeyde basma gerilmeleri meydana gelir ve bu gerilmeler çeliğin yorulma dayanımını önemli ölçüde artırır [4].

Sementasyon işlemi sonrası yüzeyleri sert ve aşınmaya dirençli, iç kısımları ise yumuşak ve tok olması istenilen darbeli ve değişen kuvvete maruz kalan dişli çarklar, miller, makaralar, kesici takımlar gibi uygulama alanlarına sahiptir. Sertleştirmenin sonradan yapılması ve sertleştirme öncesi yumuşak çeliklerle aynı özelliklere sahip olması talaş kaldırılarak işlenilmesini kolaylaştırır. Sertleştirilmesi istenmeyen ve yumuşak kalması arzu edilen yüzeylerin bakırla kaplanarak korunması, iç kısımların tok olması sonucu çarpılma ve çatlak oluşumunun

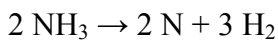
minimumuna indirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Karbürleme sırasında elde edilen derinlik sıcaklık ve zamana bağlıdır [7].

### 2.1.2. Nitrürleme

Nitrürleme teriminden, çeliğin yüzeyine azot difüze ettirilmesi anlaşılır. Azotun alınması, yüksek sıcaklıklarda ostenit katı çözeltilerinde hızlı olmasına rağmen nitrürün dış cidarda yığılması, yüzeyde kırılğan bir tabakanın oluşmasına neden olduğundan ve ostenit ferrit dönüşmesinden dolayı hacim değişmesi bu tabakanın pul pul dökülmesine yol açtığından azot daha düşük sıcaklıklarda ve ferritik yapıya yayındırılır. Bu esnada oldukça ince ve kırılğan bir tabaka oluşur ve azot içeren bölgede nitrürler çöker. Çökeltmede oluşan alaşım nitrürleri, martensit sertliğinden de fazla sertliği olan bir tabaka meydana getirir [4].

Kural olarak, nitrürleme sıcaklığı 590°C nin altındadır, yani nitrürleme de poliformik dönüşüm meydana getirilmez. Bu nedenle ve işlem sıcaklığının düşük olmasından dolayı, işlem gören parçalarda deformasyon tehlikesi azdır. Nitrürleme işlemi, daha çok gaz fazı içerisinde yapılır. Gaz nitrürleme için kullanılan amonyak, çelik yüzeyinde termik parçalanmayla, nitrürleme olayı için gerekli olan ve çelik yüzeyinde çözülebilen (Fe-N katı çözelti teşekkülü) atomal azotu sağlar ve meydana gelen bileşim değişimi difüzyonla malzemenin içlerine doğru yayılır. Yüzeydeki azot,  $\alpha$ -demirindeki çözülebilirlik sınırını aştığında, genellikle Fe<sub>4</sub>N ve Fe<sub>2</sub>N formunda demirnitür tabakası teşekkül eder. Bu yapı, oldukça serttir, kırılğandır ve kolayca pul pul dökülebilir [4].

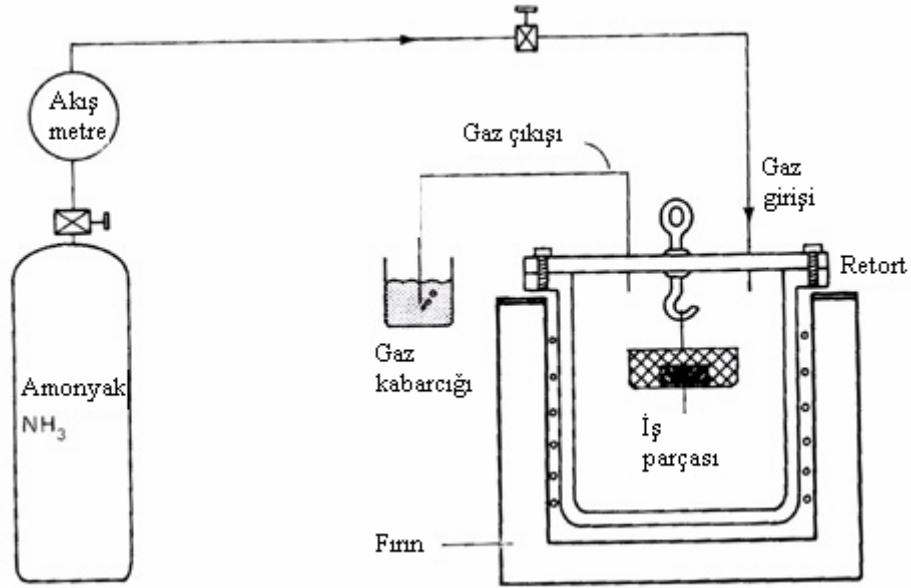
Azot kaynağı amonyaktır. Nitrürleme sıcaklığında amonyak azot ve hidrojene ayrılır [8].



Bu reaksiyon neticesinde açığa çıkan azot parçanın yüzeyine difüzyonla girerek iç yüzeyinde nitrürler oluşturur.



Nitrürleme işleminin şematik olarak gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Nitrürleme prosesi [8]

Yüzeyde arzu edilen yüksek aşınma direncine, nitrürleme için uygun olan alaşım elemanlarıyla alaşımlı çelikler kullanıldığında ulaşılabilir. Alaşım elementi olarak, azota karşı afinitesi çok yüksek olan ve difüzyon bölgesinde çok sert özel nitrürler teşekkül ettiren Cr, Al, Mo ve V elementleri uygundur. Özel nitrürlerin teşekkülü basma gerilmelerinin oluşumuyla bağlantılı olduğundan, yorulma dayanımında da artma meydana gelir [4].

Gaz nitrürlemede nitrürleme süresi, özel nitrürlerle zenginleştirilmiş tabakanın kalınlığının en az 0.5mm olması istendiğinde, yaklaşık 50 saattir. Nitrürleme süresini %30 ila %50 daha kısaltmak için amonyağa oksijen ilave edilebilir (Kısa süreli gaz nitrürleme, oksinitürleme). Böyle bir işleme bağlantı bölgesini özellikleri iyileştirilebilir ve yöntemin kullanılabilirliği, daha önce nitrürleme yapılması düşünülmeyen çeliklere de yaygınlaştırılabilir. Nitrürleme işleminde başarılı bir ilave gelişme olarak da, plazma nitrürleme söylenebilir. Malzemeye çarpan iyonlar, malzemede ilave bir ısıtmaya gerek kalmadan nitrürleme sıcaklığına ulaşılmasını sağlayacak kadar enerji yüklüdürler. Bundan başka, iyon bombardımanı sonucu yüzeydeki kafes hata yoğunluğu yükselir, bu esnada azotun difüzyon hızı

artarak işlemin başlangıç etabında azot verilebilirlik iyileşir ve böylece sonuç olarak da nitrürleme olayı daha çok hızlanır [4].

### **2.1.3. Karbonitrürleme**

Karbonitrürleme, çeliğe ostenitik halde karbon ve azotun verildiği bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bu işlem, ostenit bileşiminin değişmesi açısından karbürlemeye benzer ve yüksek yüzey sertliği su vermek sureti ile martenzit teşekkülü ile elde edilir. Karbonitrürleme ile yüzeyin sertleştirilmesi martenzit teşekkülü kadar bir derece nitrür oluşumuna bağlıdır [9].

Karbonitrürleme prosesinde, amonyak+karbonca zengin bir gaz veya karbürleme de bir tür karbon kaynağı olarak kullanılan buharlaştırılmış sıvı hidrokarbon ihtiva eden bir atmosfer kullanılır. Karbonitrürleme de, çeşitli gaz değişimi ve gaz metal reaksiyonları meydana gelir. Çelik yüzeyinde amonyak disosiye olur ve atomik azot içeri girer. Azot karbonun difüzyonunu engeller ve bu etki ve buna ilave olarak karbonitrürlemenin düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi tabaka kalınlığının nispeten ince olmasına (0.075-0.75mm) sebep olur. Daha yüksek sıcaklıklarda, amonyağın termal çözülmesi çok hızlıdır ve azot tedarikini sınırlar. Düşük karbonitrürleme sıcaklıkları, düşük sıcaklıklarda gevrek yapılar oluşturduğu için pek kullanılmaz [9].

Karbonitrürleme ile ilgili ayrıntılı bilgiler bir sonraki bölümde verilecektir.

### **2.1.4. Ferritik nitrokarbürleme**

Çeliğe karbon ve azot verilmesini içeren diğer bir yüzey sertleştirme türü ferritik nitrokarbürlemedir. Karbonitrürlemeye ters, fakat nitrürleme prosesine benzer şekilde, karbon ve azot, ferrite  $Ac_1$  sıcaklığının altında ilave edilmektedir. Ferritik nitrokarbürleme prosesi sıvı ve gaz olarak yapılmaktadır. Her iki prostedeki ortak faydalı sonuç, 450 ve 590°C arasında oluşan çok ince bir tek fazlı epsilon karbonitrür tabakasıdır (demir, azot ve karbonun üçlü hegzagonal bileşiği). Epsilon karbonitrür bileşik tabakası, mükemmel aşınma ve yenme özelliklerine sahiptir ve

minimum distorsiyonla üretilmektedir. Tabaka ferritik+perlitik mikroyapılı pahalı olmayan yumuşak çelikler üzerine oluşabilmekte ve bundan dolayı, onların aşınma ve yorulma direncini önemli ölçüde iyileştirmektedir [9].

### 2.1.5. Borlama

Bir termokimyasal yüzey işlemi olarak tanımlanan borlama, ısı enerjisi ile parçanın yüzeyine bor atomlarının difüze olmasıdır. Çelik yüzeyinde oluşan borürlerin sertliği yüksek olduğundan aşınma direncini ve korozyon direncini önemli derecede artırır. Borlamada yüzeyde FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazları görülür. Borlamada oluşan tabakanın gevrek olmasına neden olan faktörler FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarının sertliğinin yüksek olması ve borlanmış tabaka ile matris arasında yüksek sertlik eğimi olmasıdır. Bu gevrekliği azaltmak için 3 ana metod vardır. İlki Fe<sub>2</sub>B tek faz oluşturmak, ikincisi borlamadan sonra laser ısıtma işlemi (LHT) uygulamak ve sonuncusu kompleks borlanmış tabaka üretimidir [10].

Borlama sıcaklığı 850 ila 1000 °C ve borlama süresi 1 ila 6 saattir. 1 saat borlama süresinde, yaklaşık olarak 0.1mm tabaka derinliğine ulaşılır. Borlama işlemi, alaşımsız ve alaşımlı çeliklere yapılabildiği gibi, dökme demir, sinter demir, sert metal ve demir olmayan metallere de yapılabilir. Alaşımsız çeliklerde yapılan borlamada, 1800 HV mikro sertlik değerine ulaşılır. Alaşımlı çeliklerde ise bu değer 2500 HV kadardır. Borlanmış parçalar, sertleştirilmişlere nazaran yaklaşık dört kat aşınma dayanımına sahiptirler. Fe<sub>2</sub>B tabakasındaki basma gerilmelerinden dolayı, borlamayla sürekli dayanım da yükselir. Borür tabakasını yüksek yüzey basınçlarından korumak için, parçaların borlamadan sonra alışımlı şekilde sertleştirilmeleri gerekir. Borlama işlemi, belirli malzeme grupları için sınırlama söz konusu olmadığından, çok yönlü olarak kullanılabilir ve çelikten yapılmış konstrüksiyon elemanlarıyla şekillendirme takımlarının çok zor aşınma problemlerinin çözümüne yardımcı olur. Çekilerek üretilen çelik ve tel malzemelerin imalatı için kullanılan sert metal takımlarda, işlem görmemişlere nazaran yaklaşık dört kat ömre ulaşılır [4].

## 2.2. Termik Yüzey Sertleştirme Yöntemleri

Karbon miktarı % 0.3-0.6 arasında olan St grubu yapı çeliklerinin merkez kısmı değişime uğratılmadan ince bir yüzey tabakasının sertleştirilmesi, ısı birikimi ile yapılır. Çeliğin ısı iletim katsayısı bakırinkinin 1/10'u kadardır. Kuvvetli ısı kaynakları vasıtası ile çeliğin yüzeyine ısı verirse bu ısı aynı ölçüde merkez kısımlarına iletilmez. Isı yüzeyde birikir ve kısa zamanda sertleştirme sıcaklığına ulaşılır. Su verme sıcaklığına varıldığında derhal su veya yağ püskürtülerek su verilir. Martenzit bu şekilde sadece daha önce ostenitik yapıya dönüştürülmüş kısımlarda oluşur [11].

### 2.2.1. Alevle yüzey sertleştirme

Alevle yüzey sertleştirme, gaz üfleçleri yardımıyla yüzeyin ısıtılması ve ani soğutma işlemidir. Arzu edilen ısı birikimine ulaşabilmek için, gaz üfleçlerinin yeterli güçte olması zorunludur. Yanıcı gaz olarak, havagazı, asetilen, sıvı petrol gazı, doğal gaz, metan ve propan gibi gazlar kullanılabilir. Gazların kullanımında, gazın ısı değeri ve hacmi göz önünde tutulmalıdır. Sertleştirilen bölgenin derinliği, yanma gücünün değiştirilmesiyle ayarlanabilir. Sertleşme derinliği, üflecin maksimum gücüne ve yüzeyi sertleştirilen parçaların kalınlığına bağlı olarak sınırlanır. Parça kalınlığının, sertleşme derinliğinin en az 4 katı olması gerekir. Alevle yüzey sertleştirmede yöntemin seçiminde, ısıtılan yüzeyin büyüklüğü ve üflecin ısı gücü göz önünde tutulur [4].

Küçük yüzeylerde kılıf şeklinde yüzey sertleştirme uygulanır. Üfleç alevi sertleştirilmesi gereken yüzeyi kaplar veya salınımlar yaparak bütün yüzey üzerinde gezer. Silindirik yüzeyler, üfleç alevinin önünde döndürülür. Bütün yüzey su verme sıcaklığına eriştiği zaman üfleç çekilir ve su püskürten cihaz yüzeye tutulur. Çizgisel sertleştirme büyük yüzeyler için uygundur. Üfleç ve su püskürten cihaz hemen yan yana yüzey üzerinde hareket ederler [11].

### 2.2.2. İndüksiyonla yüzey sertleştirme

Alevle sertleştirmede olduğu gibi indüksiyonla yüzey sertleştirmede de, parça yüzeyinde ince bir tabaka hızlı bir şekilde sertleştirme sıcaklığına ısıtılır ve ani soğutma ile yüzey sertleştirilir. Alevle yüzey sertleştirmeye göre fark, ısının elektrik enerjisinin dönüşümü ile parça yüzeyinde oluşturulmasıdır. Isıtılacak parça alternatif akım geçen sargıların içerisine yerleştirilir. Sargıdan geçen alternatif akım, bir manyetik değişken alan meydana getirir. Bu değişken alanın içerisinde bulunan elektrik iletkeni değişken gerilimle indüklenir, sargı sarılma düzleminde bir akım oluşur. Sargıdaki sürekli değişen akım doğrultusu nedeniyle, malzemedeki akımda sürekli yön değiştirir. Bu değişken akım, çelikte ısınma meydana getirir. Sertleşme derinliği nüfuz derinliği yanında, ani soğutmaya kadar geçen süreye de bağlıdır. Sertleşme derinliği ayrıca, ısınma hızına ve malzemenin ısı iletme kabiliyetine de bağlıdır. İndüksiyonla ısıtmanın yararı, elektriksel olaylarda daha iyi ayarlanabilirlik olmasıdır. İndüksiyonla yüzey sertleştirmede kısa süren ısıtma nedeniyle, çevrenin ısınması çok azdır. İyi olmayan yönlerinin başında yüksek tesis masrafı ve enerji fiyatları ve malzeme seçiminde sınırlandırma getirmesidir [4].

Sertleştirme yapılacak çeliklerin karbon içerikleri %0.30-0.50, sertleşme sonrası elde edilecek sertlik ise 50-60 HRC değerleri arasındadır. Karbon miktarıyla kontrol edilen üst sertlik sınırı, sertleştirme sırasında çatlak oluşması tehlikesi yaratabilir [12].

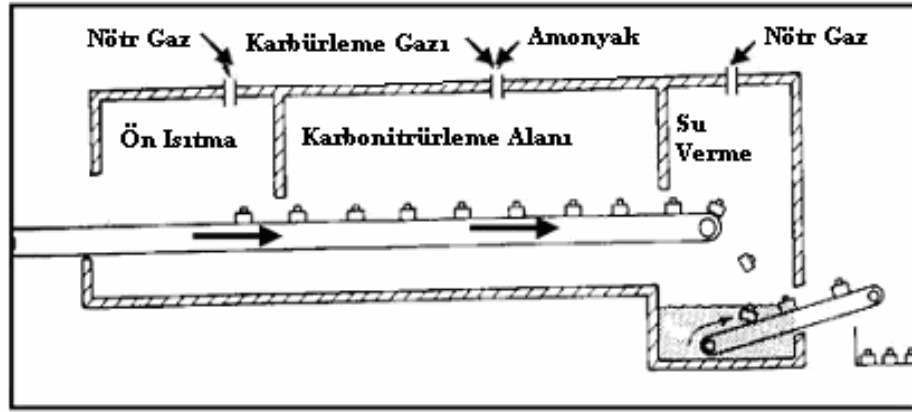
## **BÖLÜM 3. KARBONİTRÜRLEME**

### **3.1. Karbonitrürleme İşlemi ve Yöntemleri**

Karbonitrürleme, sementasyon ve nitürleme işlemlerinin kombinasyonudur. Karbon ve azot aynı anda ve yüksek miktarlarda çeliğe yüzeyinden yayındırılır. Karbonca zengin gaz veya buharlaştırılmış sıvı hidrokarbondan türetilen karbon, karbürleme için uygundur. Azot, karbürize tabakanın sertliğini artırır. Karbonitrürleme sıcaklığı normal olarak 800-900°C dir, ancak bu sıcaklıklardan daha düşük veya daha yüksek sıcaklıklar da kullanılabilir . Karbonitrürleme süresi 2 ila 10 saat arası değişir. Su verme ve temperlemeden sonra karbonitrürlenmiş tabakanın sertliği 660-820HV arasındadır [13,14].

Son 80 yıldır bilinen karbonitrürleme, 1935 yılına kadar az kullanılmıştır. 1945 den bu yana kullanımı hızla artmıştır. Karbonitrürlemenin temel amacı genelde 0,075 - 0,75 mm arasında değişen derinliklerde sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzey elde etmektir. Karbonitrürlenmiş yüzeyin sertliği karbürlenmiş yüzeyden daha iyidir; bundan dolayı, karbonitrürleme ve su vermeyle , karbon veya düşük alaşımlı çeliklerde istenilen derinlikte sertleştirilmiş yüzey tabakası daha ucuza elde edilebilir. Daha az çarpılmayla tam sertlik, yağda su vermeyle veya koruyucu bir gaz atmosferinde su vermeyle başarılabilir [13].

Gaz karbonitrürleme yönteminin şematik olarak gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Gaz karbonitrürleme yönteminin şematik olarak gösterimi [8]

Banyo karbonitrürlemede, (Yaklaşık 570°C sıcaklıkta 1 ila 3 saat) alaşımsız çeliklerde bile oldukça iyileştirilmiş aşınma direncine ulaşılır. Bu işlem, siyanatın (CNO) parçalanmasıyla serbest kalan karbonun kısmen bağlantı tabakasına yerleştiği (karbonitrür teşekkülü) ve bu tabakanın dayanımını ve sertliğini yükselttiği, siyanür (çok zehirli) ve siyanat içeren tuz banyolarında gerçekleştirilir. Banyo karbonitrür tabakasının gözeneği azdır ve karşı malzemeye nazaran çok daha az aşınma eğilimi gösterirler. Ancak pek az kalınlıklarından dolayı (yaklaşık 10 ila 20µm) banyoda nitrürleme yapılmış parçaların yüzey baskılarına karşı dayanımı azdır. Alaşımsız çelikler banyo nitrürleme işlemlerinden sonra, mümkün olduğu kadar su içerisinde ani soğutulurlar. Böylece, azotça aşırı doymuş difüzyon bölgesi, yaşlanma olayı ile oda sıcaklığında sertleşir [4].

Eğer işlem aynı sıcaklık ve süre içerisinde, örneğin propan ya da havagazı gibi karbon verici maddeler içeren amonyak atmosfer içerisinde (gaz karbonitrürleme) gerçekleştirilirse, banyo nitrürleme tabakasında sözü edilen yapıdaki bir tabaka, benzer özellikli olarak elde edilir. Bu yöntem banyo nitrürlemeye nazaran, daha iyi ayar edilebilirlik, zehirli tuzlardan çevrenin kirlenmemesi ve işlem yapılan parçalarda sonradan temizlik gerektirmemesi gibi üstünlüklere sahiptir [4].

Tüm karbonitrürleme yöntemleri için, gaz ya da tuz banyosu kullanılabilir. Banyodaki karbonitrürlemede, sıcaklığın (~700°C) A<sub>1</sub> sıcaklığının altında ya da üzerinde olduğuna, işlem görmemiş çeliğe bağlı olarak dikkat edilmelidir. A<sub>1</sub> sıcaklığının altındaki işlemde, banyodaki siyanat miktarının yaklaşık %15 olması

gereklidir. Ani soğutma genellikle suda yapılır. İnce bir bağlantı tabakası ve oldukça sert yüzey tabakası elde edilir. Bu yöntem özellikle, alaşımsız çeliklerde yüksek yüzey basınçlarının olmadığı ve iyi aşınma dayanımı istendiğinde uygulanır. Yüzeye nüfuz eden C ve N elementlerinin oranı düşük sıcaklıklarda  $\frac{1}{4}$  iken (bu durumda daha çok nitrüleme gerçekleşmiş), yüksek sıcaklıklarda bu oran tersi (C/N yaklaşık 1/0.3) olur, yani bu durumda cidarda sementasyon daha etkindir. A<sub>1</sub> in üzerindeki banyo sıcaklıklarında %30 siyanür içeren tuz banyoları, aktifleştirici ve kömür ya da grafit olmaksızın kullanılır [4].

590°C sıcaklığının altında karbonitrüleme uygulanmış parçalarda, özellikle bağlantı bölgesinde aşınma dayanımında oldukça yükselme olur. Bundan dolayı, alaşımlı çeliklerin kullanılması, yalnızca yapı elemanlarında ve takımında belirli özellikler gerektiğinde zorunlu olur. Örneğin meneviş sıcaklıkları yaklaşık olarak karbonitrüleme sıcaklığı düzeyinde olan sıcak iş takım çeliklerinde ve yüksek hız çeliklerinde, ince bir bağlantı tabakasıyla aşınma direncinde ilave bir iyileşmeye ulaşılır [4].

Eğer karbonitrüleme işlemi Fe-N ve Fe-Fe<sub>3</sub>C sistemlerinin ötektoid sıcaklıkları arasında, yani 590 ila 723 °C sıcaklıkları arasında yapılırsa, düşük sıcaklıklarda olduğu gibi demir yüzeyinde bağlantı tabakası teşekkül eder. Fakat, difüzyon bölgesinde azotun ferrite nazaran daha fazla olan çözülebilirliği ile ostenitte dönüşüm olur ve böylece sertleşme yapılabilir. Bu durumda, daha öncede belirtildiği gibi çekirdekte azot artışı olmadığından dönüşüm olmaz. Karbonitrüleme sıcaklığından martensitik yapı için ani soğutulularak dönüştürülen difüzyon bölgesi, bağlantı tabakası üzerinde koruyucu etki meydana getirir. Aşınma dayanımı da iyileşen bağlantı bölgesiyle, düşük sıcaklıklarda yapılan karbonitrülemeye nazaran daha yüksek yüzey basınçlarına da dayanım sağlanır. Orta sıcaklık karbonitrüleme sertleştirilmesi olarak tanımlanan bu yöntem, pratikte yaklaşık olarak 660 ila 780°C arasında uygulanır ve yüksek sıcaklık (723°C nin üstü) sahasında merkez malzemesinde de kısmi dönüşüm meydana gelir [4].

Karbonitrüleme sıcaklığı 780 ila 860°C arasında (yüksek sıcaklıkta karbonitrüleme sertleştirilmesi) olursa, artık bağlantı yaopısı teşekkül etmez. Bu durumda, alışılmış



tarzda kullanılan sementasyon çeliklerinde, çekirdekte sıcaklığa bağlı olarak çok ya da az dönüşme meydana gelebilirken, buna karşılık azotla zenginleşmiş cidarda tam ostenit dönüşmesi olur. Ani soğutmadan sonra, cidar bölgesinde martensit ve nüfuz eden azota bağlı olarak artık ostenit teşekkül eder. Bu durum, aşınma karakteristiği için uygun bir yapıdır. Yüksek sıcaklıklardaki karbonitrüleme işleminde, yaklaşık olarak sementasyonla sertleştirmede ulaşılabilen özellikler elde edilir. Ancak ilave bazı üstünlükleri vardır. Nüfuz eden azottan dolayı kritik soğuma hızı düştüğünden, alaşımsız çelikler de yağ içerisinde ani soğutulabilirler ve daha az deformasyon tehlikesi doğar. İlave olarak, düşük işlem sıcaklığıyla sağlanan enerji tasarrufu, fırının meşgul edilme durumuyla dengelenir. Buna karşın, merkez dayanımı ve sürekli dayanım değerlerinin az olması, üstün olmayan tarafıdır [4].

Karbonitrülenmiş parçalara, müsaade edilen çarpılma, parça büyüklüğü ve şekli, çelik bileşimi, metalurjik ihtiyaçlar (sertlik gibi) ve fırın malzemesi tipine bağlı olarak, su, yağ ve gaz ortamında su verilir [13].

### **3.1.1. Karbonitrüleme atmosfer yapısı**

Karbonitrülemede kullanılan atmosfer, taşıyıcı gaz, zenginleştirici gaz ve amonyak karışımından oluşur.

Taşıyıcı gaz, genellikle azot, hidrojen ve karbonmonoksit karışımı ve az miktarda metan, oksijen, su buharı, karbondioksit, endotermik jeneratörde diğer havalı hidrokarbonlar ve doğal gazdan hazırlanır. Havanın sızmasını önlemek için ve oda da pozitif basınç yaratmak için yeterli hacimde fırına bu gaz sağlanır. Bu aynı zamanda prosesin kontrolünü daha kolay yapmak için, daha aktif gazları (hidrokarbon ve amonyak) seyreltir. Bu gaz, girişle yapılandırılan fırınlarda iç kapı açıldığında havanın karbonitrüleme odasına girmesini önler ve girişten havayı ve yağ buharlarını temizler. Zenginleştirici gaz, genelde hidrokarbonlardan biridir (doğal gaz, propan, butan gibi) ve çelik yüzeyine yayılan karbon için ana kaynaktır. Bazı işlemlerde (genellikle kömür fırınlarıyla ilgili) yüksek sıcaklıklarda buharlaşan sıvı hidrokarbon, karbon kaynağı olarak kullanılır. Bu yapıldığında genelde taşıyıcı gaza gerek kalmaz. Amonyak, azot kaynağıdır. Amonyak, çeliğin yüzeyinde azot

oluşturmak için fırında çözünür. Amonyak içeriği % 3-8 arası korunur. Yüzey tabakasında azot içeriğinin normal değeri %3-4 arasındadır. Fırın atmosferine amonyağın eklenmesiyle karbon yayılım miktarı azalır. Amonyak miktarının artırılması sertliği artırır [13,15].

### **3.1.2. Sıcaklığın seçimi**

Karbonitrüleme sıcaklığının seçimi tek olarak veya bir kombinasyon içinde çok sayıda etkenlere dayanır. Bunlar çelik bileşimi, boyutsal kontrol, yorulma ve aşınma özellikleri, sertlik, mikroyapısal içerik, fiyat ve teçhizattır. Çarpılmanın ön planda olduğu uygulamalarda mümkün mertebe düşük sıcaklıkta işlem yapılması sağlanır [13].

### **3.1.3. Kalıntı ostenitin kontrolü**

Azot ostenitin dönüşüm sıcaklığını düşürür. Bu nedenle, karbonitrülenmiş tabakalar aynı karbon içeriğinde karbürülenmiş tabakadan daha fazla kalıntı ostenit içerir. Kalıntı ostenit sebebiyle oluşan düşük sertlik çoğu uygulamalarda istenilmez. Ostenitin martenzite dönüşümü hacim artışına sebep olur. Bu parçaların çalışma anında olursa, hareket eden parçaların zorlanmasına veya durmasına neden olur [13].

Kalıntı ostenitin miktarı, su verilen parçaların -40 ve -100°C arasında soğutulmasıyla önemli derecede azaltılır. Kalıntı ostenit kaldırmanın bir yolu sıfırlı işlemdir. Fakat sıfır altı işlem pahalı olduğundan mümkün olduğunca kaçınılmaktadır. Kalıntı osteniti en aza indirmenin en ekonomik yolu tercih edilen çeliğin seçimi ve karbonitrüleme işleminin kontrolüdür [13].

Karbonitrülenmiş çeliklerdeki azot sertleşme kabiliyetini artırır ve düşük sertleşme kabiliyetine sahip sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde martenzit teşekkülünü mümkün hale getirir. Azot varlığı sebebiyle oluşan nitrürler de yüksek tabaka sertliğine yardımcı olur. Azot karbona benzer şekilde, bir ostenit stabilizördür. Bu bakımdan karbonitrülenmiş bir parçaya su vermeden sonra önemli bir miktar

ostenit kalabilir. Eğer kalan ostenit miktarı sertliği ve aşınma direncini azaltacak kadar yüksekse, ostenit miktarı ya proses içerisinde veya prosesin son kısmı sırasında karbonitrüleme gazının amonyak miktarının azaltılması ile kontrol edilmektedir [9].

### **3.2. Karbonitrür Kabuk Kalınlığının Yorulma Dayanımına Etkisi**

Karbonitrülenmiş bir parçada kabuğun özelliklerini ve dolayısıyla yük taşıma kabiliyetini, karbon içeriği, kabuk kalınlığı, kalıntı ostenit miktarı ve iç gerilme dağılımı belirler. Yüzeydeki artık basma gerilmesi için, sert kabuk derinliği artarken azalan çekirdek alanı yüzünden çekirdek kısmında çekme artık gerilmesi artar. Dolayısıyla uygulanan dış kuvvetler etkisinde efektif gerilmenin değeri arttığından parça çekme gerilmeleri etkisi altında kolayca hasara uğrar. Bu yüzden mekanik zorlanma açısından optimum kabuk kalınlığından söz etmek mümkündür. Literatürde aşırı kabuk kalınlığı tavsiye edilmemiş ve parça kabuk kalınlığı /parça kalınlığı oranının %20 yi aşmaması yönünde tavsiyeler bulunmaktadır [16].

### **3.3. Karbonitrülenebilen Malzemeler ve Karbonitrürlerin Özellikleri**

Karbonitrülenmiş çelikler genelde 1000, 1100, 1200, 1300, 4000,4600, 5100, 6100, 8600 ve 8700 serileridir, karbon içeriği % 0.25 civarındadır. Çoğu çelik, merkezi tok, sert ve uzun sürede aşınan bir yüzey istenildiğinde (şaft ve geçiş dişlileri tipik örnekleridir) kabuk derinliği 0,3 mm' ye varan derinlikte karbonitrülenebilir [13].

Karbonitrüleme sonucunda yeni elde edilecek yapı, seçilen sıcaklık değerine çok bağlıdır. Sertleştirmeden önce en dış cidar tabakası sementit, nitrür ve karbonitrür, geçiş bölgesi ise yüksek miktarda azot ve karbon içeren ostenitten oluşur. Sıcaklık ne kadar yüksek ise, karbonu ve azotu zenginleşmiş bölge o kadar kalın teşekkül eder ve o kadar da çok sementit çöker. Optimal şartlar altında karbonitrülenmiş kabuk ince kristal yapılu martenzit, az miktarda homojen biçimde dağılmış karbonitrür ve %25-30 kalıntı ostenitten oluşur. Yükselen sıcaklık, difüzyon hızını artırır ve cidardaki karbon miktarını yükseltir. Yüksek sıcaklıklarda artan difüzyon hızına karşın, azot en dış bölgeye yerleşir ve çekirdek yönünde difüzyonu

engeller ve azaltır. Düşük sıcaklıkların daha az deformasyona yol açması, çekirdek dönüşümünün olması gibi avantajları nedeniyle, işlemden yüksek sıcaklıklar pek tercih edilmez [4,14].

### 3.4. Karbonitrürlenmiş Kabuğun Özellikleri

1. Karbürlemeden daha düşük sıcaklıklarda yapılan karbonitrüleme parçalarında çarpılma karbürlemeye göre daha azdır.
2. Kritik soğuma hızını düşüren ve ılık su verme kullanımına izin veren kabuktaki azot varlığından dolayı düşük su verme hızı mümkündür. Böylelikle su vermeden kaynaklanan çarpılma ve çatlaklar azaltılır.
3. Karbon ve alaşımlı çeliklerin ikisi de prosese cevap verir.
4. Amonyakın varlığından dolayı atmosferdeki su buharı ve karbondioksitin daha az zararlı olmasında karbonitrürlenmiş kabuk karbürlenmiş kabuktan daha homojendir.
5. Karbonitrülemeye oluşan kabuk karbürlemede oluşan kabuktan daha dayanıklıdır. Sebebi karbonitrürlenmiş kabuktaki temperlemeye karşı direnci arttıran azotun varlığıdır.
6. Karbonitrüleme de çarpılma, eğrilik veya parçanın boyutsal değişikliği düşük sıcaklıklardan çok yüksek sıcaklıklarda olur. Bu karbürleme prosesinde daha ciddi sonuçlar verir.
7. Karbonitrülemenin ana avantajı parçanın kritik soğuma hızını düşüren proses boyunca azot yayılmasıdır. Aynı çeliğe yalnız karbürleme yapıldığında karbonitrülemeye azot eklenmesiyle çeliğin sertleşme kabiliyeti önemli ölçüde artar. Bu avantaj az alaşımlı pahalı olmayan çeliklerin kullanımına izin verir. Düz karbon çelikleri alaşımlı çeliklerin yerine geçebilir.
8. Sementasyonla oluşan parçanın sertliğini dönüşüm aralığındaki azotun varlığı artırır. Azot içeren kabuğun aşınma direnci ve kalitesi yüksektir. Azotun varlığı demir malzemelerin diğer metal yüzeylerine yapışmasını veya kaynakla birleşmesi eğilimini azaltır.
9. Karbonitrülemenin karbürlemeye göre daha düşük sıcaklıklarda yapılması yakıt tüketimindeki önemli derecede azalmayla fırının ve fırın malzemelerinin çalışma ömrünü arttırır.

10. Karbonitrülenmiş tabaka karbürleme ile karşılaştırıldığında parçanın dayanım limitini ve yorulma mukavemetini artırır [15].

### 3.5. Karbonitrülenmenin Uygulamaları

Karbonitrülenmenin karbürleme prosesinden türetilmiş olmasına rağmen, uygulamaları karbürlemeye oranla daha fazla sınırlandırılmıştır. Karbonitrülenmede kabuk derinliği maksimum 0.75 mm olarak sınırlandırılırken, karbürleme de böyle bir sınırlama yoktur. Karbonitrülenmiş yüzeyin dayanımı, karbürlenmiş yüzeye göre daha üstündür. Diğer kayda değer farklılıklar artık gerilme, metalurjik yapı, yorulma, özel sertlik değerlerinde mukavemet ve alaşım bileşiminin kabuğa ve çekirdek yapısına etkilerinde ortaya çıkar [13].

Darbe şeklinde olmayan düşük yüzey basınç kuvvetlerinin aşınma tesiri altında olan parçalara uygulanır; mesela, dikiş makineleri için delme veya otomat parçaları, büro makineleri, tekstil veya paketleme makineleri. Özellikle delici parçalarda şeklini muhafaza etme mukavemeti yükselir . Karbonitrüleme çarpılmaya eğilimi olan dişli çark gibi karmaşık parçalara uygulanır [11,14].

Sertleşme sonucu kendini çekme düşük olduğundan, parçalar karbonitrüleme ve su vermeden sonra 180°C da yapılacak temperleme işlemi ile kullanılabilir hale gelirler. Doğrultma ve tekrar ayarlama merkez malzemesi yumuşak olduğu için mümkündür [11].

### 3.6. Avantajları

- Daha düşük sertleştirme sıcaklığında daha hafif etki eden su verme ortamları kullanıldığı için kendini çekme daha azdır. Bu sıcaklıkta merkez bölgesi (azot ve karbon ihtiva etmez) dönüşüme uğramaz; işlemin tamamında merkezde dönüşüm olmaz.
- Sert ve ince yüzey tabakası (sertliği 900 Vickers biriminin üzerinde) ince parçaların şekil katılığını ve yorulma mukavemetini arttırır. Azot ihtiva eden bütün

yüzeylerde olduğu gibi, soğuk kaynak edilme kabiliyeti az, aşınma mukavemeti yüksektir.

- A<sub>1</sub> üzerinde (yaklaşık 800°C da) yapılan karbonitrüleme ile maksimum 0.2 mm kalınlığında tabakalar elde edilir. Bu tabakalardan merkez bölgesi sertliğine geçiş yumuşaktır (ani değil).

- A<sub>1</sub> altında (yaklaşık 700°C da) yapılan karbonitrüleme sonucunda ise, 0.1mm kalınlığında tabakalar oluşur ve merkez bölgesi sertliğine geçiş anidir. Bu işlem için karbon miktarı %0.3 den küçük olan alaşımsız çelikler uygundur. [11]

- Karbonitrüleme genelde dişli çark gibi eğilmeye yatkın olan karmaşık parçalara uygulanır.

- Gaz karbürlemeye göre avantajları vardır : Proses 930-960°C yerine 850-870°C gibi daha düşük sıcaklıklarda uygulanır, kabuk kalınlığı daha incedir, daha az çarpılma ve eğilme vardır, aşınma ve korozyon direnci daha fazladır ve iş parçası yüzeyinde veya fırın duvarlarında is yoktur.

- Sıvı siyanürleme ile karşılaştırırsak, karbonitrülemenin avantajları vardır : toksik tuz uygulama ihtiyacı yoktur, kabuktaki karbon ve azot içeriği kontrol edilebilir, orta ve büyük boyuttaki parçalar işlenebilir [14].

- Karbonitrüleme, alışlagelmiş yüzey sertleştirmeye oranla çeliğin sertleşebilirliğini ve aşınma direncini artırır.

- Normal olarak suda su verilen sade karbonlu ve alaşımlı çeliklere karbonitrüleme işlemi uygulandığında, bazen yağda su verilebilir [13].

### 3.7. Dezavantajları

- Karbonitrüleme kalın kabuk kalınlığı istenildiğinde kullanılmaz. Kabuk kalınlığı incedir.

- Karbonitrüleme pahalı gaz atmosfere ve yavaş kabuk sertleşme hızına ihtiyaç duyar.

- Çarpma direnci zayıftır.Karbürlenmiş parçaya göre çarpma direnci yaklaşık yarısı kadardır.

- Düşük sıcaklıklarda karbonitrülenen parçaların difüzyon zorluğu vardır. Kalıntı ostenitten dolayı yüzey pasifliği oluşmuştur [13,15].

### 3.8. Güvenlik

Gaz karbonitrürleme ortamları bir hayli toksik, alevlenebilir ve patlayıcıdır. Güvenlik önlemleri teçhizat ve personeli korumak için alınmalıdır. Bu cihazların işleyişi periyodik olarak kontrol edilmelidir. Karbonitrürlemenin ihtiyaç duyduğu amonyak sistemi genellikle, genel manifolda bağlı sıvı amonyak silindirlerinden oluşur. Genelde, ihtiyaç olan kadar amonyak kullanılır, geri kalan kısım rezervlerde tutulur. Her silindirden akış, valflerin donmasını önlemek için yeterince alçak olmalıdır. Yalnız paslanmaz çelik valfler tavsiye edilir. Amonyak silindirler fırınların yanına, direkt güneş ışığında veya alevlenebilir gazların veya diğer yanıcıların yanına yerleştirilmemelidir. Amonyak kaynağının tavanda iyi havalandırılan bir odaya yerleştirilmesi ve yangına dayanıklı duvarlarla çalışma alanından ayrılması tavsiye edilir. Çünkü amonyak havadan hafiftir, yangın tehlikesini azaltır ve toksiktir. Gaz maskeleri kullanılmaya hazır olmalıdır, fakat amonyakla aynı alanda saklanmamalıdır. Sülfür çubuklarla amonyak sızıntıları kontrol edilebilir [13].

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **4. 1. Giriş**

Bu çalışmada St12 kalitede DKP sac olarak bilinen bükme derin çekme işlemlerinde tercih edilen malzeme kullanılmıştır. Üç farklı kalınlıkta temin edilen malzemenin ısıt işlemlili ve ısıt işlemsiz durumlarındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Parçalara basit çekme, üç noktadan eğme ve sertlik deneyleri uygulanmış ayrıca mikroyapı ve tane boyutu incelenmiştir. Karbonitrüleme ısıt işleminin mekanik özelliklere olan etkisi üç farklı kabuk kalınlığı için irdelenmiştir. Isıt işlem sonrası yüzey sertliği ve 300 HV sertlik değeri esas alınarak belirlenen efektif kabuk kalınlığı için mekanik davranışı araştırılmıştır. Sacların ısıt işlem esnasında mikroyapısal davranışı incelenmek amacıyla bir saatlik sabit tavlama süresi için, 800, 900, 1000 ve 1100 °C’de tavlama işlemleri uygulanmıştır. Karbon kaybı riskine karşılık parçaların iç kısımları optik mikroskop altında incelenmiştir. Tane irileşmesinin eğme mukavemetine etkisini araştırmak için kullandığımız sac 1050°C’de 2.5 saat tavlansarak yağda soğutulmuş mikroyapı ile eğme mukavemeti arasındaki ilişki araştırılmıştır. Isıt işlemlili ve ısıt işlemsiz saclarda mikroyapı incelemesi sonucu özellikle tane sınırlarında bazı bilinmeyen yapıların olduğu görülmüştür. Bu noktalara EDS analizi yapılarak bu yapılar araştırılmıştır.

### **4. 2. Deneylerde Kullanılan Çelikler**

Deneylerde kullanılan St12 kalite Erdemir ürünü sacın kimyasal bileşimi (% ağırlıkça) ve mekanik özellikleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.



Tablo 4.1. Deneyleerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşim (% ağırlık) ve mekanik özellikleri

Çelik Türü	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)				Mekanik Özellikler		
	C <sub>maks</sub>	Mn <sub>maks</sub>	P <sub>maks</sub>	S <sub>maks</sub>	Çekme Dayanımı MPa	Akma Dayanımı < MPa	Kopma Uzaması < %
St 12	0.07	0.4	0.02	0.02	270...410	280	28

### 4. 3. Karbonitrürleme İşlemi

Karbonitrürleme işlemi gaz ortamında 850-900°C arasında gerçekleştirilmiş ve yağda soğutulmuştur. Isıl işlemden sonra 150-200°C arasında temperleme yapılmıştır. Karbonitrürleme Nil Isıl İşlem (Gebze) tarafından gerçekleştirilmiştir.

### 4. 4. Metalografik İncelemeler

Metalografik incelemeler için numuneler Buehler Metaserv marka bakalite alma cihazında bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler 120, 180, 320, 600, 800 ve 1000 grid'lik zımpara kademelerinden geçirilmiştir. Parlatma işlemi 0.05 µm'lik alümina ile gerçekleştirilmiştir. %5'lik nital ile yapılan dağlama işleminden sonra numuneler Olympus marka optik mikroskop yardımıyla incelenerek mikro yapıları belirlenmiştir.

### 4. 5. Sertlik Ölçümleri

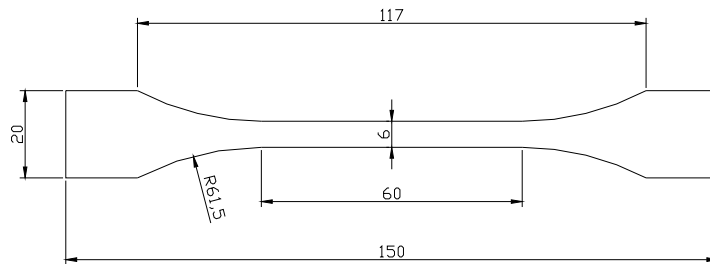
Bu çalışmada sertlik ölçümleri Vickers yöntemiyle hesaplanmıştır. Sertlik ölçümleri için Shimadzu marka mikrosertlik cihazında Vickers uç kullanılarak 1 kg yük altında her bir numune için 8 sn süre beklenerek ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı Shimadzu marka mikrosertlik cihazı

#### 4. 6. Çekme Deneyleri

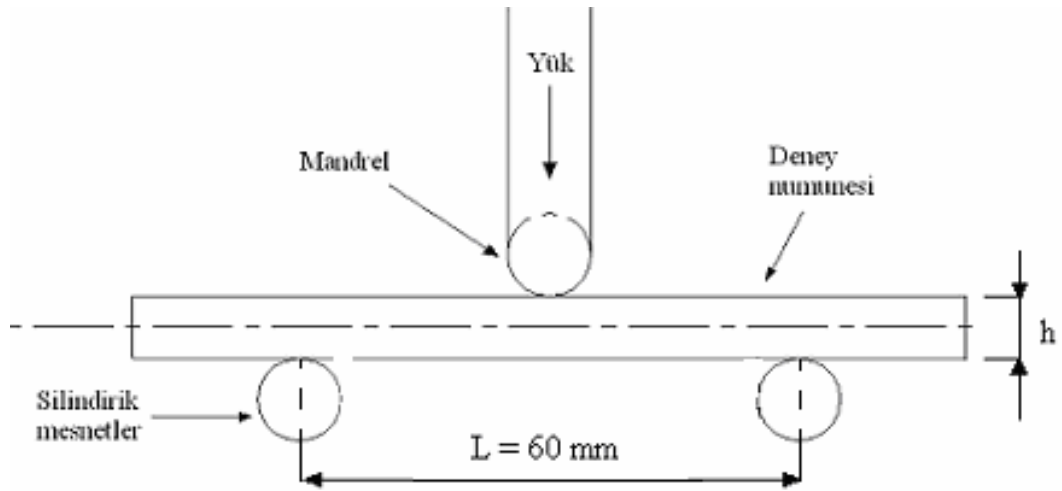
Metal malzemelerin çoğunda bazı mekanik özellikleri ölçebilmek için çekme deneyi yapılır. Çekme deneyleri FEDERAL ELEKTRİK Yatırım ve Ticaret A.Ş.'in fabrika bünyesindeki Testometrik Micro 350 marka cihazda yapılmıştır. Çekme deneyinde kullanılan numunelerin geometrisi Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çekme numunesi

#### 4. 7. Eğme DeneYleri

İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen deney parçasının orta noktasına sürekli artan kuvvet uygulanmış ve parçanın orta kısmındaki çökme (yer değıştirme miktarı) kaydedilmiştir. Elde edilen kuvvet-yer değıştirme eğrilerinden elastik doğrusallığın korunduğu en büyük kuvvet değerleri ve numune kesiti dikkate alınarak eğme dayanımı hesaplanmıştır. Basit bir eğme deneyinin prensip şeması Şekil 4.3'te görölmektedir.



Şekil 4.3. Basit eğme deneyi düzenegi

Eğme sonucunda, malzemenin eğme momenti ve eğilme gerilmesi gibi değerlerin hesaplanabilmesi için deney esnasındaki yük (P) ile eğilme miktarının (Y) duyarlılıkla ölçülmesi ve mesnet merkezleri arasındaki uzaklığın bilinmesi gerekir.

Şekil 4.3'dekine benzer eğme düzenlerinde, kuvvet iki mesnete serbestçe oturmuş deney numunesinin tam ortasına etkiğinden, eğme momenti aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$M_e = \frac{PL}{4} \quad (4.1)$$

Burada,  $M_e$  : eğme momenti (kg-mm)

$P$  : uygulanan kuvvet (kg) ve

$L$  : mesnet merkezleri arasındaki uzaklıktır (mm).

Eğilme gerilmesi ise,

$$\sigma_e = \frac{M_e y}{I} \quad \sigma_e = \frac{3 PL}{2 bh^2} \quad (4.2)$$

Burada,  $I$  : çubuğun nötr eksene göre eylemsizlik momenti,

$Y$  : nötr eksenden uzaklıktır ( $y = \frac{h}{2}$ ).

Eylemsizlik momenti ( $I$ ) çubuk kesitinin geometrik şekline bağlıdır. Dikdörtgen kesitli bir çubuğun nötr eksene göre eylemsizlik momenti aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (4.3)$$

Burada,  $b$  : malzeme genişliği,

$h$  : malzeme kalınlığıdır.

Isıl işlemlili ve ısıl işlemsiz numunelerin eğme deneyleri Şekil 4.4'de gösterilen Testometrik Micro 350 marka cihazda yapılmıştır. Yer değiştirme miktarı 10 mm alınmıştır.



Şekil 4.4. Çekme ve eğme deneylerinin yapıldığı Testometric 350 adlı cihaz

Tane irileşmesinin eğme mukavemetine etkisini araştırmak için ayrıca sac 1050°C'de 2.5 saat tavlansak yağda soğutulmuştur ve mikroyapı incelenmesi ve eğme deneyi yapılmıştır.

#### 4. 8. Tane Boyutu Ölçümü

Sac numunelere 800°C, 900°C, 1000°C ve 1100°C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta tavlama yapılmış sonra yağda soğutulmuştur. Sıcaklığın artmasıyla numunelerde tane irileşmesi olup olmayacağını veya hangi sıcaklıktan sonra irileşme riskinin bulunduğu araştırılmıştır.

Tane boyutu ölçümleri ASTM standartları ile yapılmıştır. Tane boyutu mikroskopta 100 büyütmede (X100) tespit edilmiştir. ASTM tane boyutu numarası (N), 1 inc<sup>2</sup> lik alandaki tane sayısına (n) tekabül eder. ASTM tane boyut numarası (N) ve 100 büyütmedeki 1inc<sup>2</sup> deki tane sayısı (n) Tablo 4.2'de verilmiştir. n ve N arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir,

$$n = 2^{N-1} \quad (4.4)$$

Tablo 4.2. ASTM tane boyut numarası (N) ve 100 büyütmedeki 1inc<sup>2</sup> deki tane sayısı (n) [12]

ASTM	0	1	2	3	4	5	6	7
1 inc <sup>2</sup> deki tane sayısı	0.5	1	2	4	8	16	32	64

Tane büyüklüğü ve ASTM tane numarası Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Tane büyüklüğü ve ASTM tane numarası [17]

ASTM no.	Tane/mm <sup>2</sup>	Tane/mm <sup>3</sup>	Ortalama tane boyutu, mm
-1	3.9	6.1	0.51
0	7.8	17.3	0.36
1	15.5	49	0.25
2	31.0	138	0.18
3	62	391	0.125
4	124	1105	0.090
5	248	3126	0.065
6	496	8842	0.045
7	992	25010	0.032
8	1980	70700	0.022
9	3970	200000	0.016
10	7940	566000	0.011
11	15870	1600000	0.008
12	31700	4527000	0.006

ASTM tane boyut numarasını değerlendirmek için özel bir mercek kullanılarak Olympus marka optik mikroskopta ölçümler yapılmıştır.

#### 4.9. EDS Analizleri

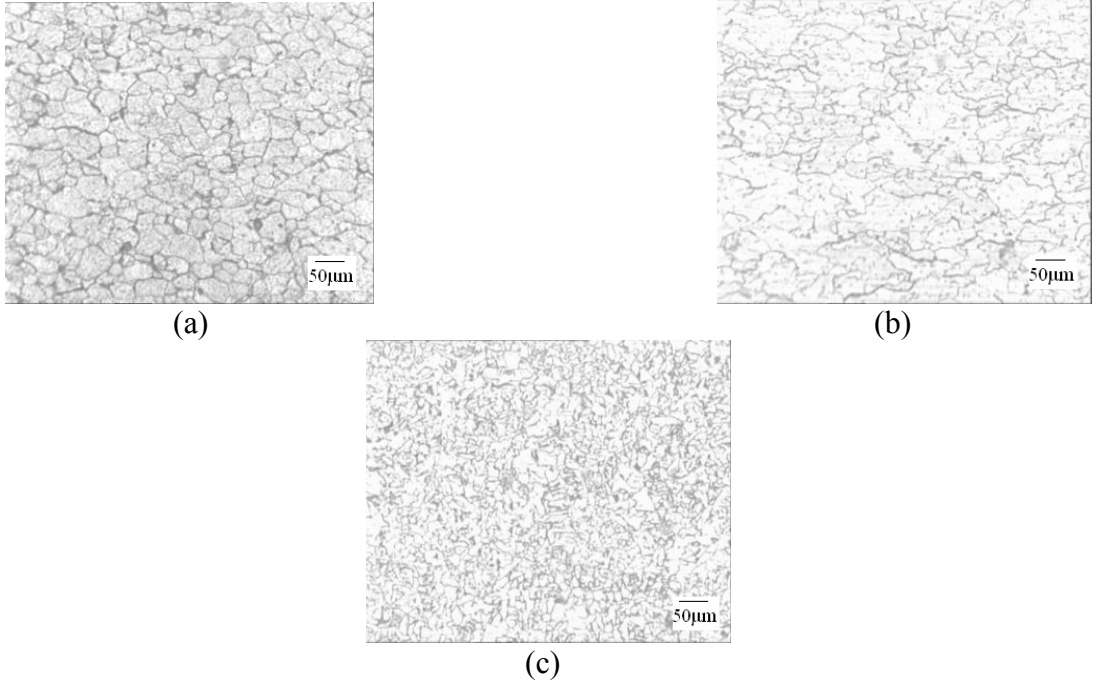
Isıl işlemler ve ısıl işlemsiz saclarda mikroyapı incelemesi sonucu özellikle tane sınırlarında bazı bilinmeyen yapıların olduğu görülmüştür. Bu noktalara EDS analizi yapılarak bu yapıların kimyasal bileşiminin ne olduğu araştırılmıştır.

## BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

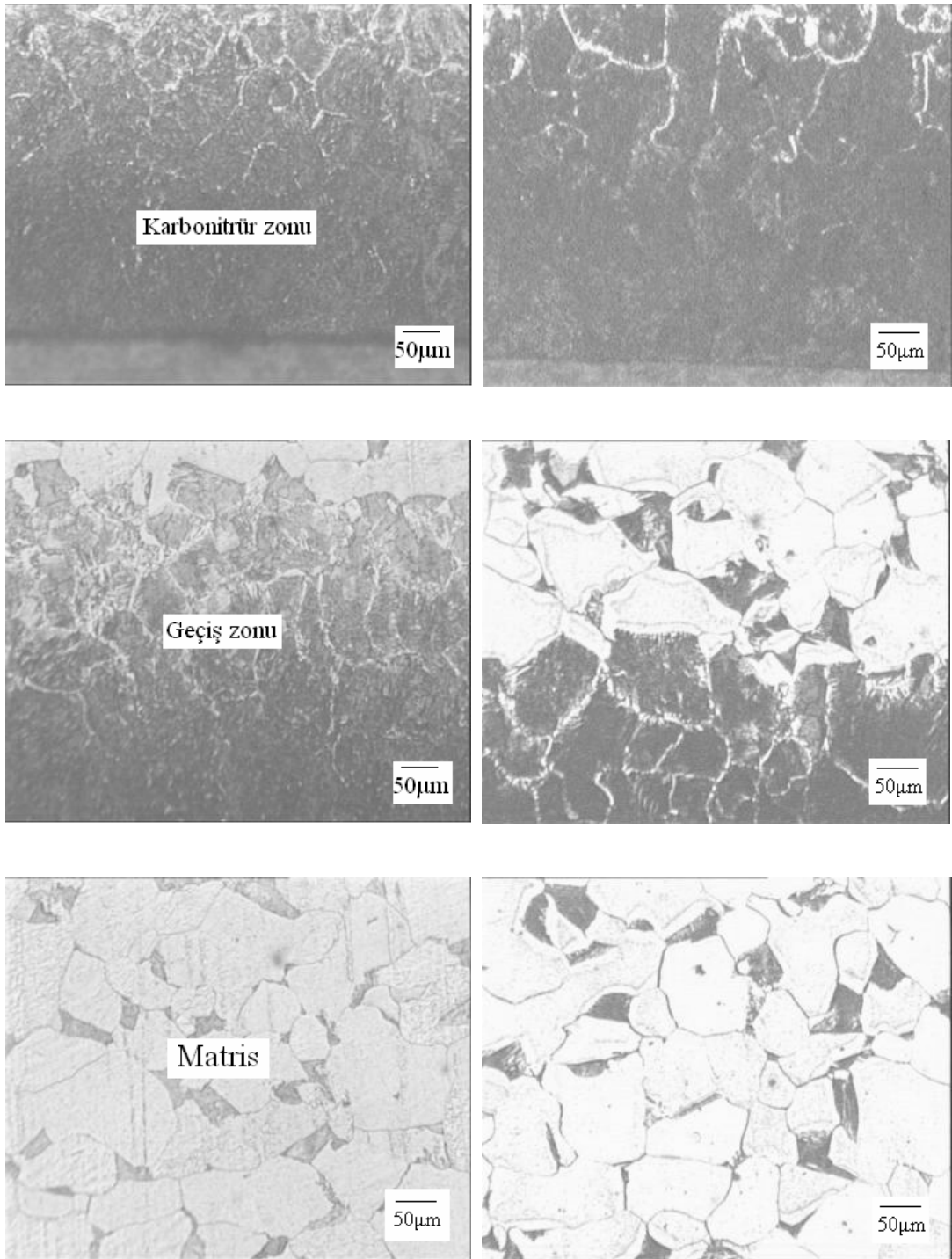
Üç farklı kalınlıkta temin edilen ısıt işlemlı ve ısıt işlemsız numunelerin mekanık özellikleri incelenmiştir. Karbonitrüleme ısıt işleminin mekanık özelliklere olan etkisi üç farklı kabuk kalınlığı için araştırılmıştır. Karbonitrülenen parçalara çekme, üç noktadan eğme ve sertlik deneyleri uygulanmış ayrıca mikroyapı ve tane boyutu incelenmiştir.

### 5.1. Metalografik İncelemeler

Deneylerde kullanılan ısıt işlemlı ve ısıt işlemsız numunelerin optik mikroyapıları Şekil 5.1- 5.7'da görölmektedir. Mikroyapıların fotoğrafları 200 büyütmede çekilmiştir.



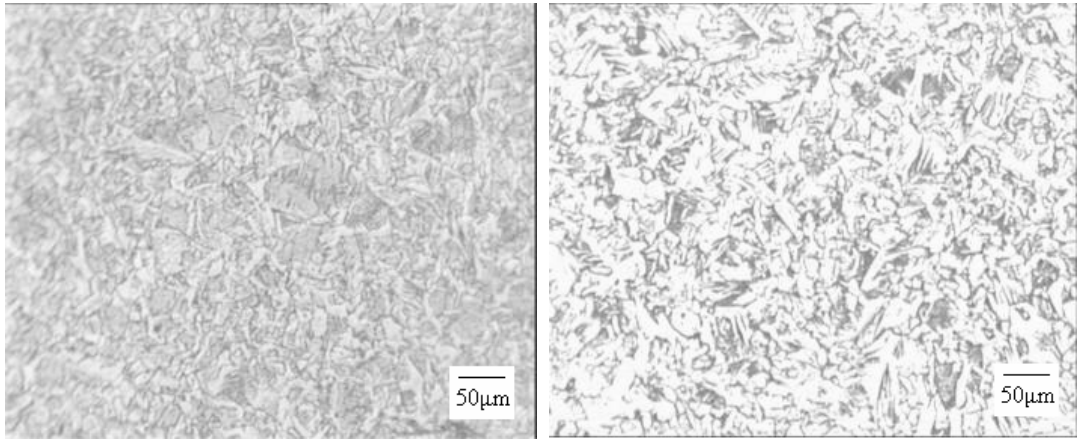
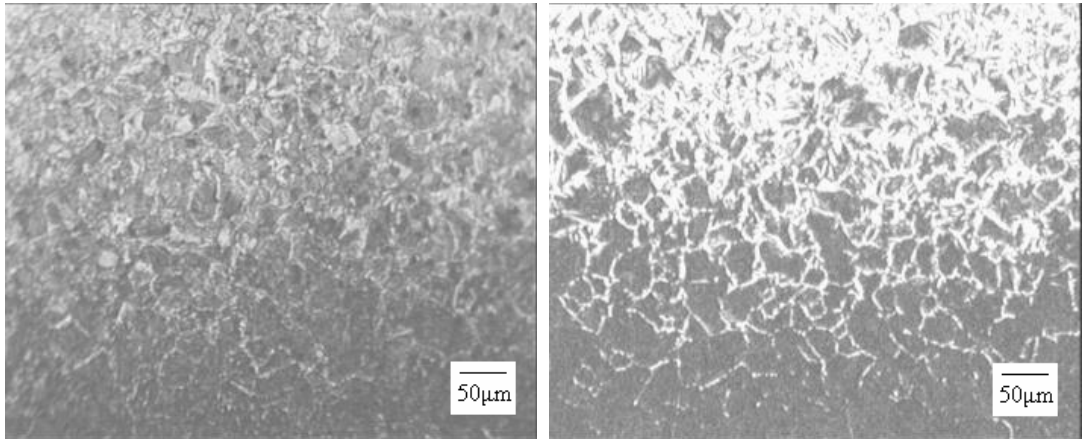
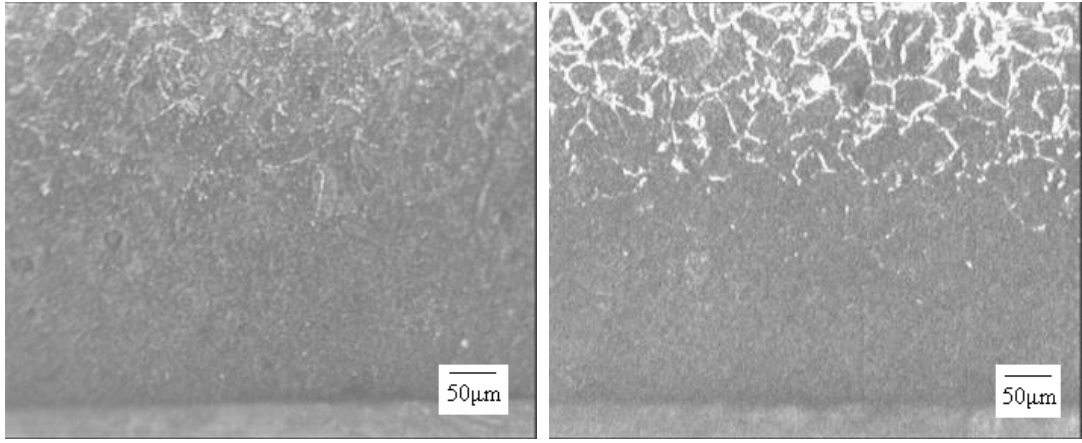
Şekil 5.1. ısıt işlemsız numunelerin optik mikroyapıları, sac kalınlıkları; a) 1.2 mm, b) 2 mm, c) 3 mm



Şekil 5.2. 0.15 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 1.2 mm)

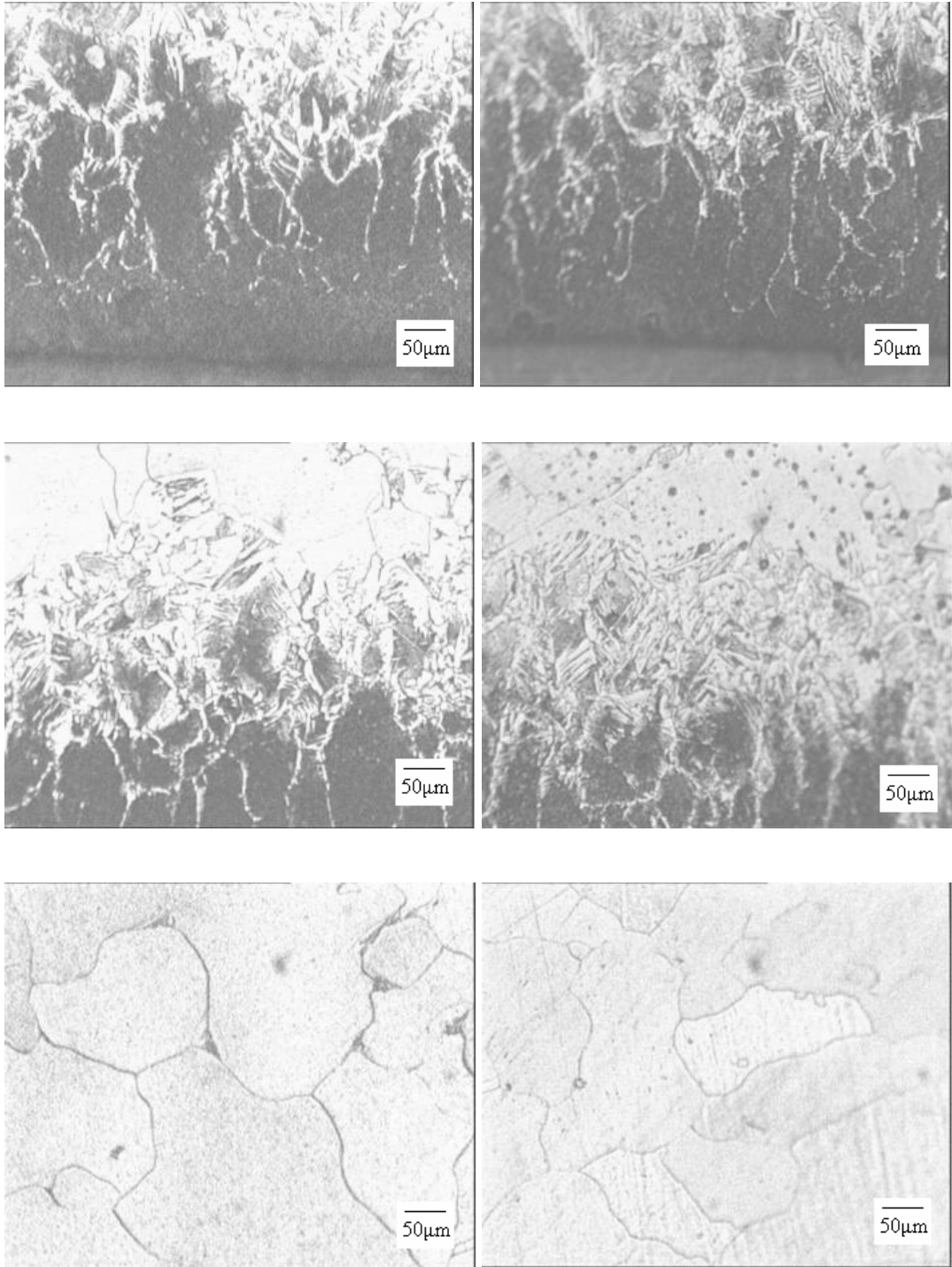
Şekil 5.3. 0.17 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 1.2 mm)





Şekil 5.4. 0.19 mm kabuk kalınlığına karbonitrürlenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 2 mm )

Şekil 5.5. 0.20 mm kabuk kalınlığına karbonitrürlenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 2 mm)



Şekil 5.6. 0.08 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 3 mm)

Şekil 5.7. 0.12 mm kabuk kalınlığına karbonitrülenmiş numunenin optik mikroyapısı (Sac kalınlığı : 3mm)

Isıl işlemden önce sacların mikroyapıları ferritik-perlitik yapıdadır. Kabonitrülenmiş numunelerin mikroyapılarında üç farklı zon oluşmuştur. En dışta

martenzitik yapıda karbonitrür zonu, içe doğru sementit ağlarıyla örülü geçiş zonu bulunmakta ve en içte ferritik-perlitik yapıda matris bulunur.

## 5.2. Sertlik Ölçümleri

### 5.2.1. Isıl işlem görmemiş sacların sertlik ölçümleri

Isıl işlem görmemiş sacların sertlikleri Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Isıl işlem görmemiş sacların sertlikleri

St 12 sac	
Sac kalınlığı (mm)	Sertlik (HV)
1.2	110 ± 3
2	102 ± 4
3	130 ± 5

### 5.2.2. Isıl işlemlenmiş numunelerin sertlik ölçümleri

Sac kalınlıkları 1.2, 2, 3 mm olan üç farklı saca farklı kabuk derinliğinde karbonitrüleme yapılmıştır. 600 HV civarında sertlik elde edilmiştir. Bu sacların sertlikleri Tablo 5.2-5.10' da ve Şekil 5.8-5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.2. 0.15 mm kabuk kalınlığında karbonitrülenen 1.2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0.05	553
0.08	511
0.1	429
0.12	380
0.13	375
0.15	298
0.18	208

0.2	194
0.23	145
0.25	129
0.3	113
0.4	107
0.6	103

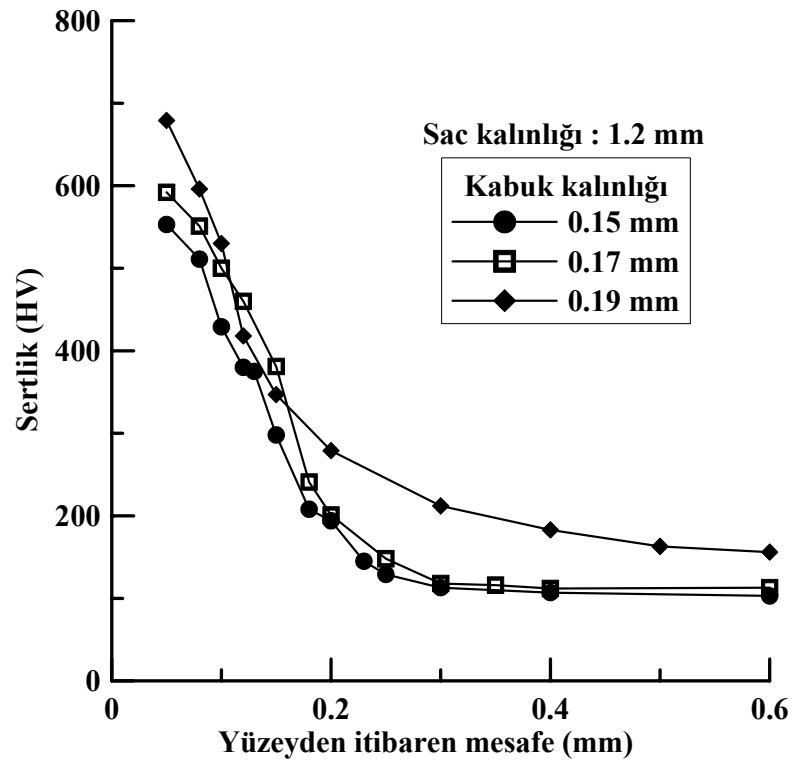
Tablo 5.3. 0.17 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 1.2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	592
0,08	551
0,1	500
0,12	460
0,15	381
0,18	241
0,2	201
0,25	148
0,3	118
0,35	116
0,4	112
0,6	113

Tablo 5.4. 0.19 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 1.2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	679
0,08	596
0,1	530
0,12	418
0,15	347

0,2	279
0,3	212
0,4	183
0,5	163
0,6	156



Şekil 5.8. Farklı kabuk kalınlıklarında karbonitrürlenmiş parçaların sertlik-derinlik grafiği ( Sac kalınlığı : 1.2 mm )

Tablo 5.5. 0.19 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	611
0,08	591
0,1	562
0,12	473
0,15	400
0,18	351

0,2	284
0,23	249
0,25	235
0,3	204
0,35	184
0,5	168
1	174

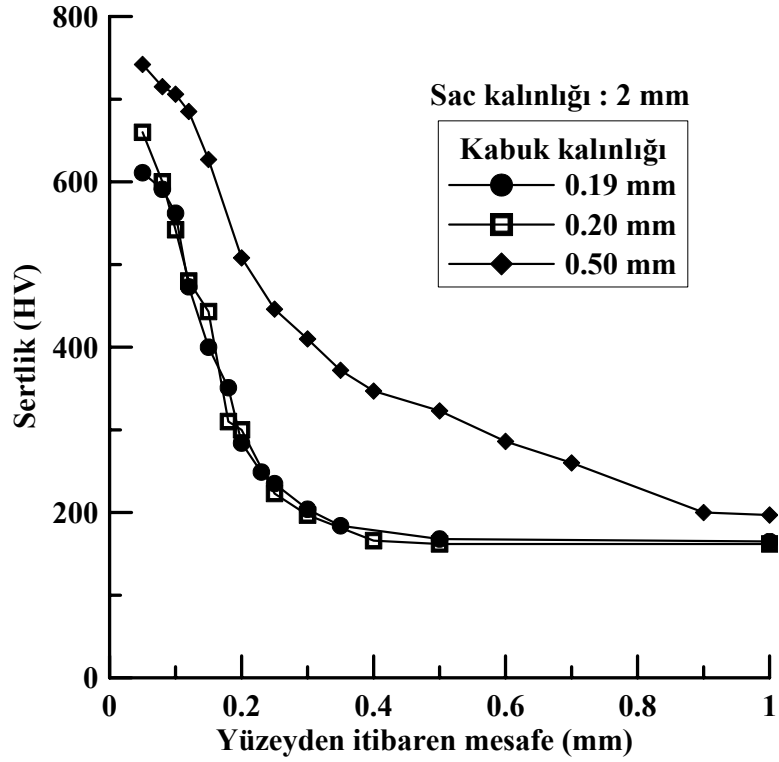
Tablo 5.6. 0.2 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	660
0,08	600
0,1	542
0,12	480
0,15	443
0,18	310
0,2	300
0,25	223
0,3	197
0,4	166
0,5	162
1	162

Tablo 5.7. 0.5 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 2 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	742
0,08	715
0,1	706
0,12	685

0,15	627
0,2	508
0,25	446
0,3	410
0,35	372
0,4	347
0,5	323
0,6	286
0,7	260
1	197



Şekil 5.9. Farklı kabuk kalınlıklarında karbonitrürlenmiş parçaların sertlik-derinlik grafiği ( Sac kalınlığı : 2 mm )

Tablo 5.8. 0.08 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 3 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	401

0,08	299
0,1	260
0,12	212
0,15	188
0,18	157
0,2	140
0,25	117
0,4	103
0,8	83
1,5	85

Tablo 5.9. 0.12 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 3 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

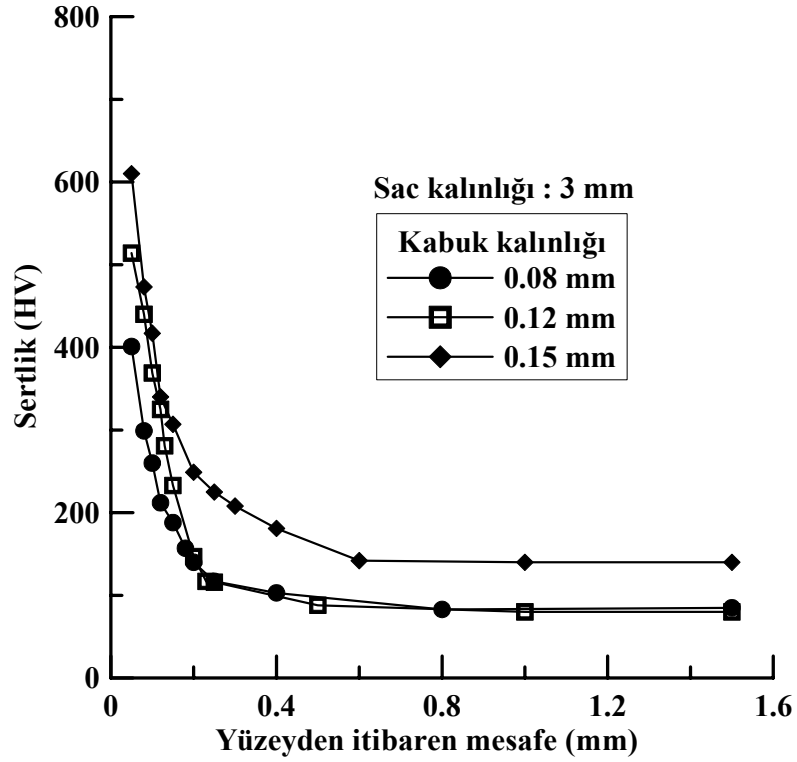
Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	514
0,08	440
0,1	369
0,12	325
0,13	281
0,15	233
0,2	147
0,23	117
0,25	116
0,5	88
1	80
1,5	80

Tablo 5.10. 0.15 mm kabuk kalınlığında karbonitrürlenmiş 3 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (mm)	Sertlik (HV)
0,05	610
0,08	473



0,1	417
0,12	340
0,15	307
0,2	249
0,25	225
0,3	208
0,4	181
0,6	142
1	140
1,5	140

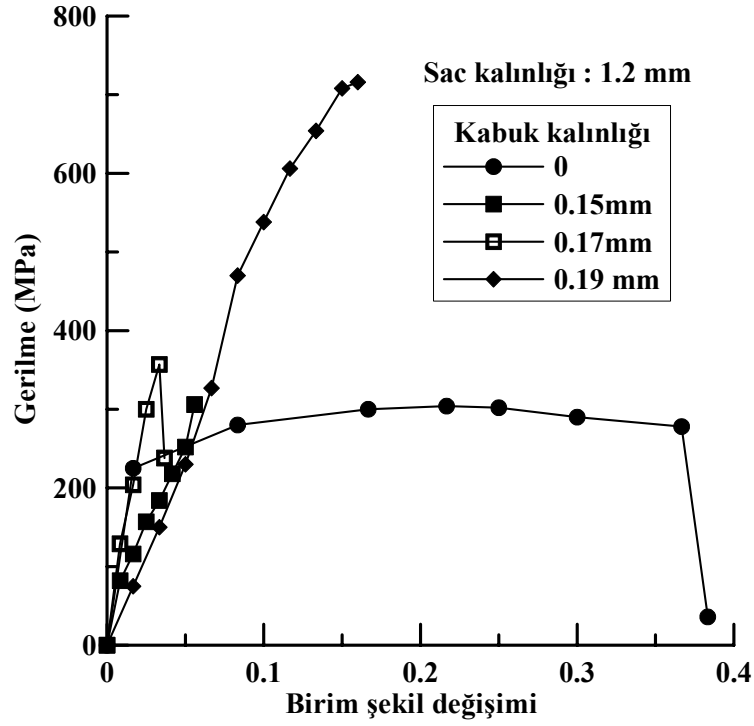


Şekil 5.10. Farklı kabuk kalınlıklarında karbonitrürlenmiş parçaların sertlik-derinlik grafiği ( Sac kalınlığı : 3 mm )

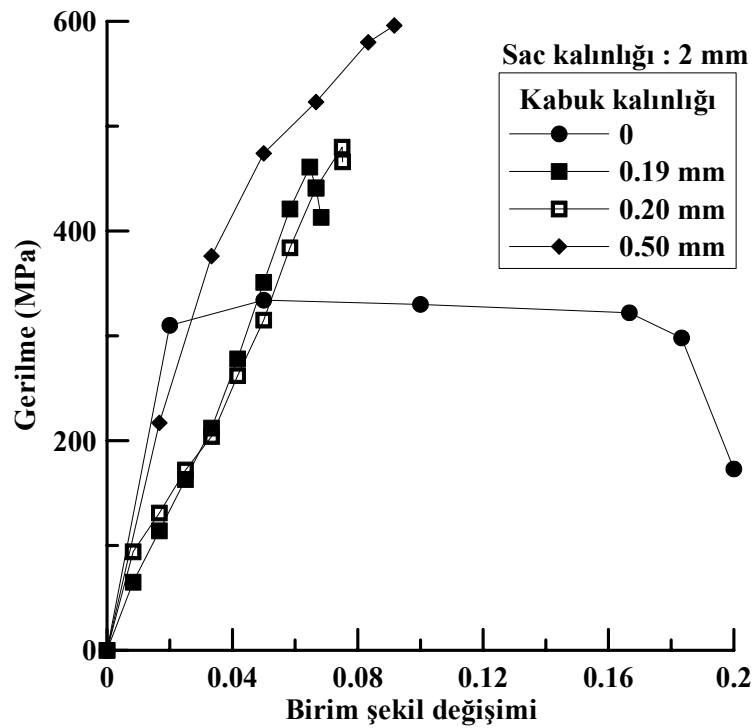
Farklı kabuk kalınlıklarına karbonitrürlenme işlemi, endüstriyel ortamda farklı şarjlarda gerçekleştirildiği için yüzey sertliklerinde farklılık oluşmuş ve sistematik olarak öngörülen kabuk kalınlıklarına ulaşamamıştır.

### 5.3. Çekme Deneyi Sonuçları

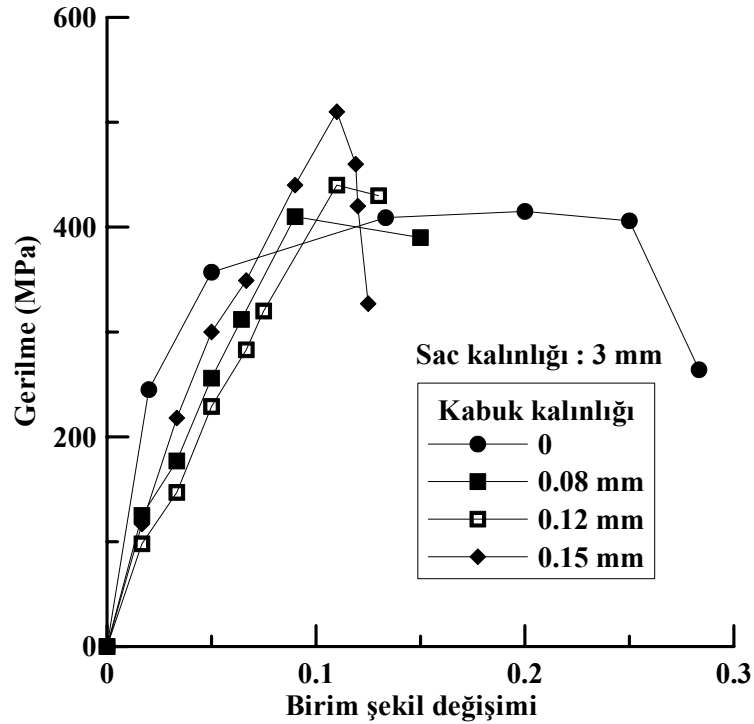
Isıl işlemlili ve ısıl işlemsiz numunelerin çekme deneyi grafikleri Şekil 5.11-5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.11. 1.2 mm kalınlığındaki ısıl işlemlili ve ısıl işlemsiz sacın çekme deneyi grafikleri



Şekil 5.12. 2 mm kalınlığındaki ısıl işlemlili ve ısıl işlemsiz sacın çekme deneyi grafikleri

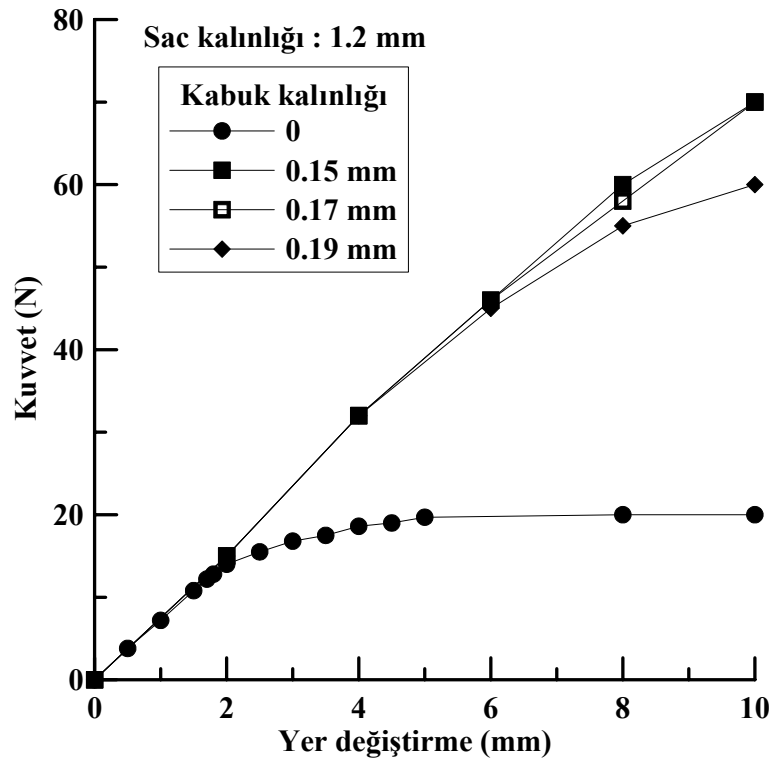


Şekil 5.13. 3 mm kalınlığındaki ısıtılmış ve ısıtılmış sacın çekme deneyi grafikleri

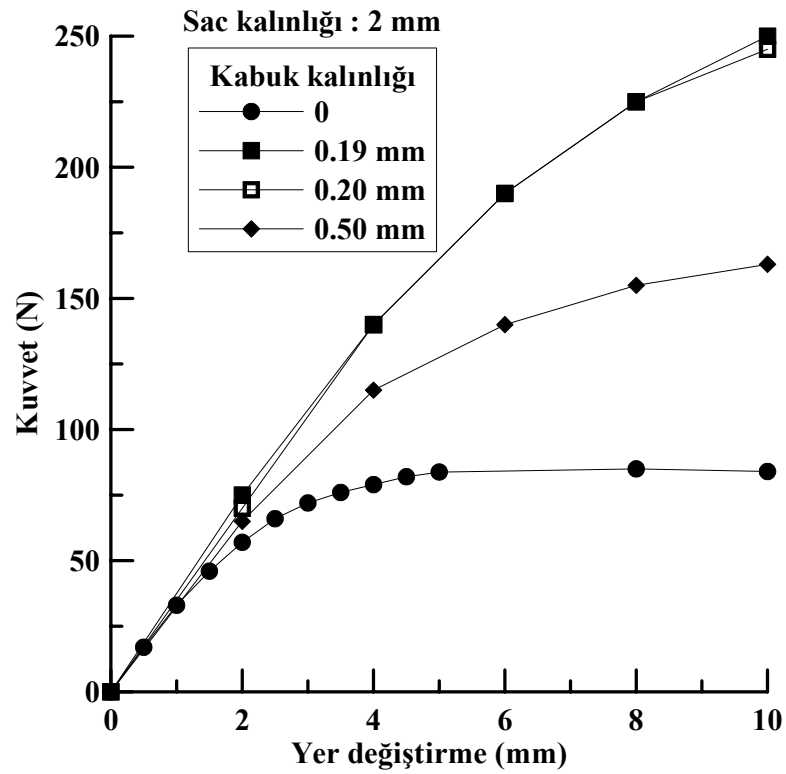
Çekme eğrilerinden anlaşıldığı gibi, her bir sac kalınlığı için Şekiller incelendiğinde, grafikten elde edilen çekme dayanımları sertlikle beklendiği gibi orantılı olarak değiştiği gürölmektedir. Diğer taraftan, farklı kabuk kalınlığına sertleştirilmiş saclarda çekme dayanımının belirgin bir Şekilde arttığı buna karşılık sünekliklerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Kalın kabuk kalınlığına sertleştirilmiş sacların çekme eğrisi diğerlerine göre daha yukarıda dolayısıyla da dayanımlarının daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

#### 5.4. Eğme Deneyi Sonuçları

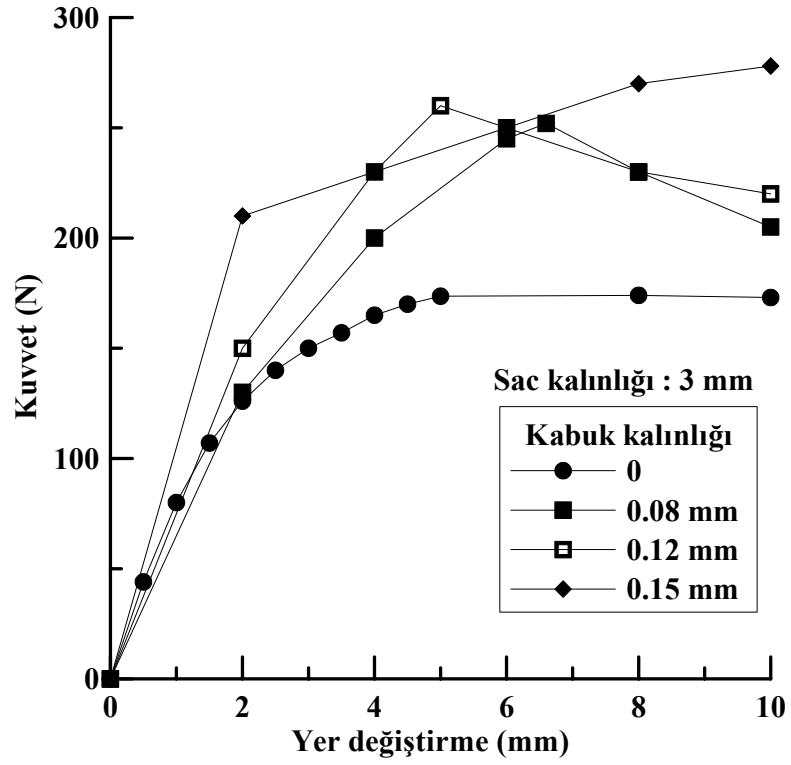
Isıl işlemsiz ve farklı kabuk kalınlığında ısıtılmış ve ısıtılmış sacın eğme deneyine ait kuvvet-yer değiştirme grafikleri Şekil 5.14 – 5.16' de verilmiştir.



şekil 5.14. 1.2 mm kalınlığındaki ısığ işlemlı ve ısığ işlemsiz sacın eğme grafikleri



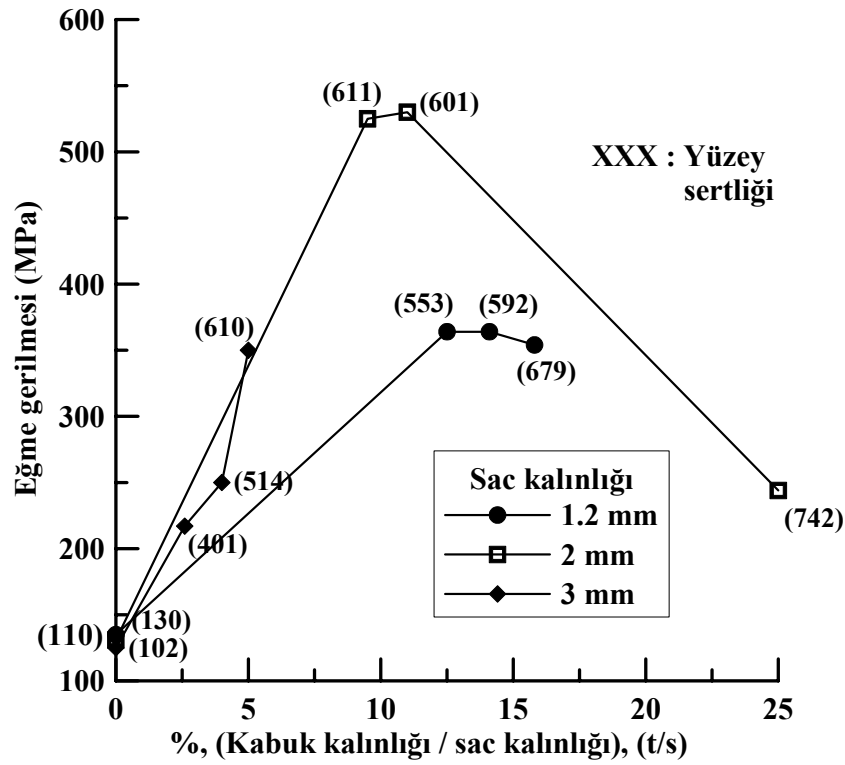
şekil 5.15. 2 mm kalınlığındaki ısığ işlemlı ve ısığ işlemsiz sacın eğme grafikleri



Şekil 5.16. 3 mm kalınlığındaki ısıtılmış ve ısıtılmamış sacın eğme grafikleri

Isıl işlem görmemiş parçaların orta noktalarından ölçülen çökme (yer değiştirme) miktarı 10 mm'yi aşmasına rağmen yüzeyde çatlak meydana gelmemiştir. Isıl işlemlenmiş parçalarda, kabuk kalınlığı beklenen şekilde gerekli eğme kuvvetinin artmasına neden olmuş, ancak eğme deneyi sırasında yüzeyde çatlak oluşmuş ve bazı numunelerde kırılma gerçekleşmiştir.

Şekil 5.17'te ana malzemenin ve farklı kalınlıklara sertleştirilmiş sacların eğme zorlanması altında elastik davranışın sona erdiği en büyük gerilme değerleri toplu olarak verilmiştir.

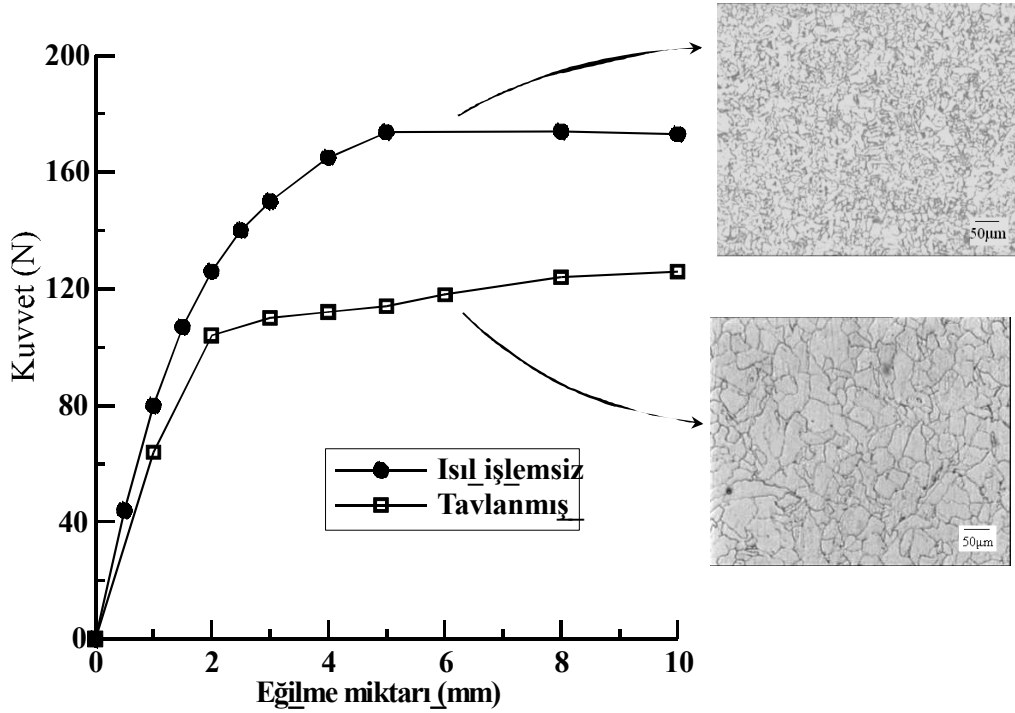


Şekil 5.17. Isıl işlemsiz ve farklı kabuk kalınlıklarında ısıl işlem görmüş sacların eğme deneyinde eğme gerilmesi - kabuk kalınlığının toplam kesitteki oranının yüzdesi grafikleri

Farklı sac kalınlıklarını da dikkate alacak genel bir değerlendirilmenin yapılabilmesi kabuk kalınlığının toplam kesitteki oranını belirten kabuk kalınlığının sac kalınlığına oranı şeklinde (t/s) boyutsuz büyüklük tüm ısıl işlem şartları için hesaplanarak elastik eğme gerilmesiyle değişimi incelenmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere ısıl işlemlenmiş sacların kalınlıkları ne olursa olsun, ısıl işlem görmemiş hallerine elastik eğme gerilmeleri önemli ölçüde artmıştır. Kabuk sertleştirilmiş saclarda, t/s oranının belirli bir değerine kadar eğme gerilmesi artmasına karşılık, sert kabuğun toplam kesitteki oranı; % 13'ün üstündeki değerleri için yük taşıma kabiliyeti azalmıştır. Verilen bir sac kalınlığı için, kabuk kalınlığının aşırı artırılması, yüzeyde faydalı basma türü kalıntı gerilmeleri azaltmakta ve ayrıca gevrek kırılma davranışına bağlı olarak çatlak oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla mekanik dayanım açısından belirli bir optimum kabuk kalınlığı ve buna bağlı olarak bir (t/s) oranından söz etmek mümkündür.

Tane irileşmesinin eğme mukavemetine etkisini araştırmak için çalışmada kullandığımız sac 1050°C’de 2.5 saat tavlanaarak yağda soğutulmuştur. Yüksek sıcaklığın etkisiyle tanelerde büyüme görülmüştür.

Isıl işlemsiz sacın ve tavlandıktan sonraki halinin eğme kuvveti-yerdeğiştirme (çökme) grafiği Şekil 5.18’ de verilmiştir.

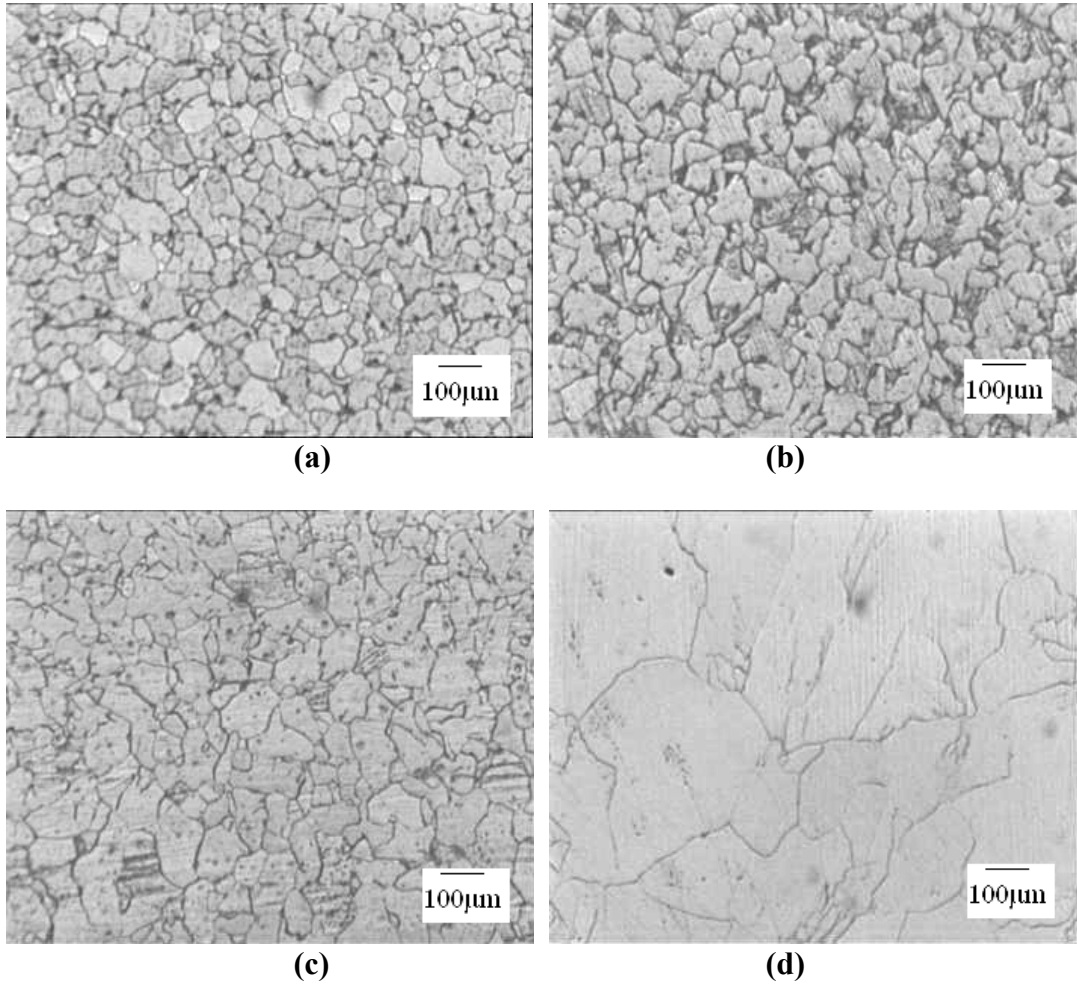


Şekil 5.18. Isıl işlemsiz ve 1050°C’de 2.5 saat tavlanaarak yağda soğutulmuş sacın eğme deneyi grafiği

Şekilden de görüldüğü gibi eğme deneyinde yüksek sıcaklıkta tavlanamış sacın tanelerinin büyük olmasından dolayı eğme kuvveti ısıls işlemsiz saca göre daha düşüktür. 2 mm elastik çökme miktarında ısıls işlemsiz sacın eğme kuvveti 127N, tavlanamış sacın ise 104N’dur. İri taneli sacın eğme kuvveti 2mm elastik çökme değerinde ısıls işlemsiz saca göre %19 düşmüştür.

### 5.5. Tane Boyutu Ölçüm Sonuçları

800, 900, 1000 ve 1100°C’ de tavlanaan numunelerin mikroyapıları Şekil 5.19’de topluca verilmiştir.



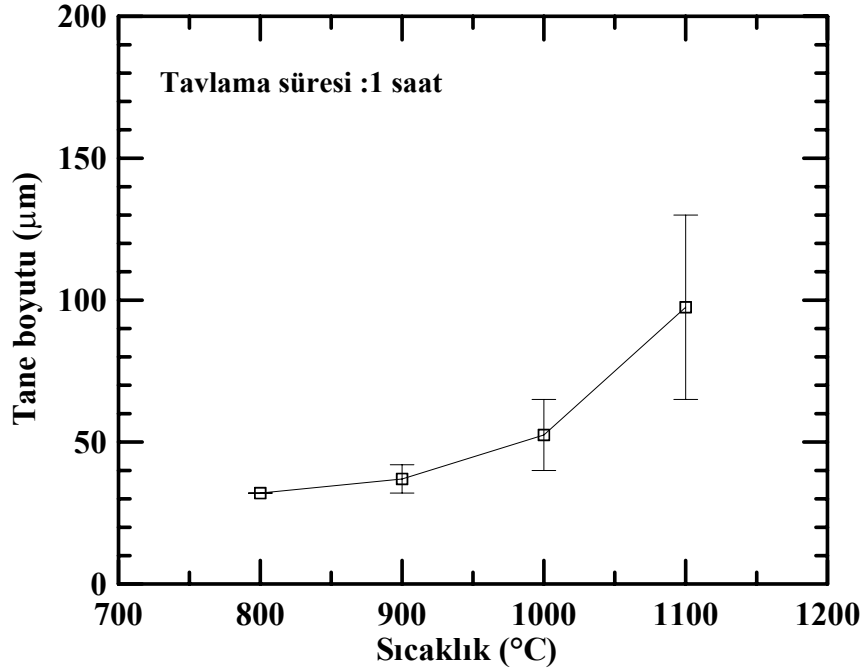
Şekil 5.19. 1 saat süreyle farklı sıcaklıklarda tavllanmış sac numunelerin optik mikroyapısı, (a) 800 (b) 900 (c) 1000 (d) 1100 °C için

Sacların, 800, 900, 1000 ve 1100 °C de tavlansak sıcaklığa bağılı olarak ölçülen ortalama tane boyutu Tablo 5.11 ve sıcaklığa bağılı olarak değişimi Şekil 5.20'e verilmiştir.

Tablo 5.11. Farklı sıcaklıklarda tavlansak sacların sıcaklığa bağılı tane boyutunun değişimi

Tavlama sıcaklığı ( °C)	800	900	1000	1100
ASTM tane boyut numarası (N)	7	7-6	6-5	5-3
Ortalama tane boyutu (µm)	32	37	52.5	97.5



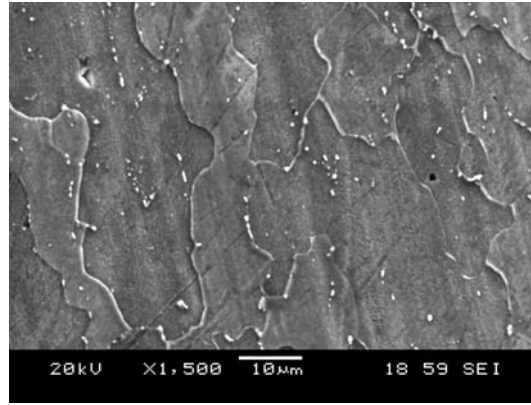


Şekil 5.20. Sıcaklığın, 1 saatlik tavlama süresi için sac malzemenin tane boyutuna etkisi

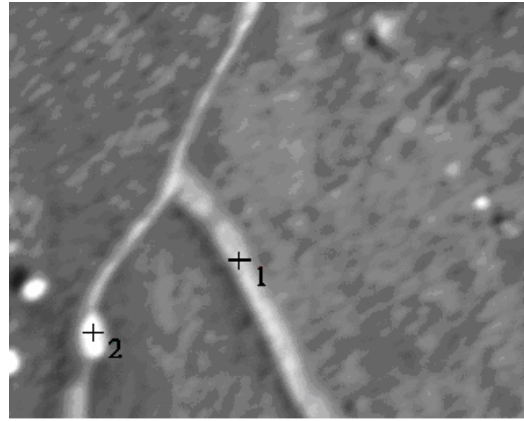
800, 900, 1000 ve 1100 °C de tavlanan sac numunelerin tane boyutu, sıcaklığın artmasıyla büyüme göstermiştir. 800 ve 900 °C de bu değişim fazla kendini hissettirmezken 1000 °C den sonra tane boyutunda belirgin bir artış meydana gelmiştir.

### 5.6. EDS Analiz Sonuçları

EDS analizi sonucu mikro yapılarda görülen bilinmeyen yapının kükürt ve fosfor olduğu belirlenmiştir. Aşırı kükürt miktarı sıcak yırtılmaya, fosfor ise soğuk yırtılmaya neden olduğundan genellikle miktarları sırasıyla %0.05 ve %0.04 altında tutulduğu bilinmektedir. Kullanılan sacın S ve P miktarları standartların altında olmasına rağmen EDS analizleri sonuçlarında özellikle tane sınırlarında S ve P varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5.21, 5.22).

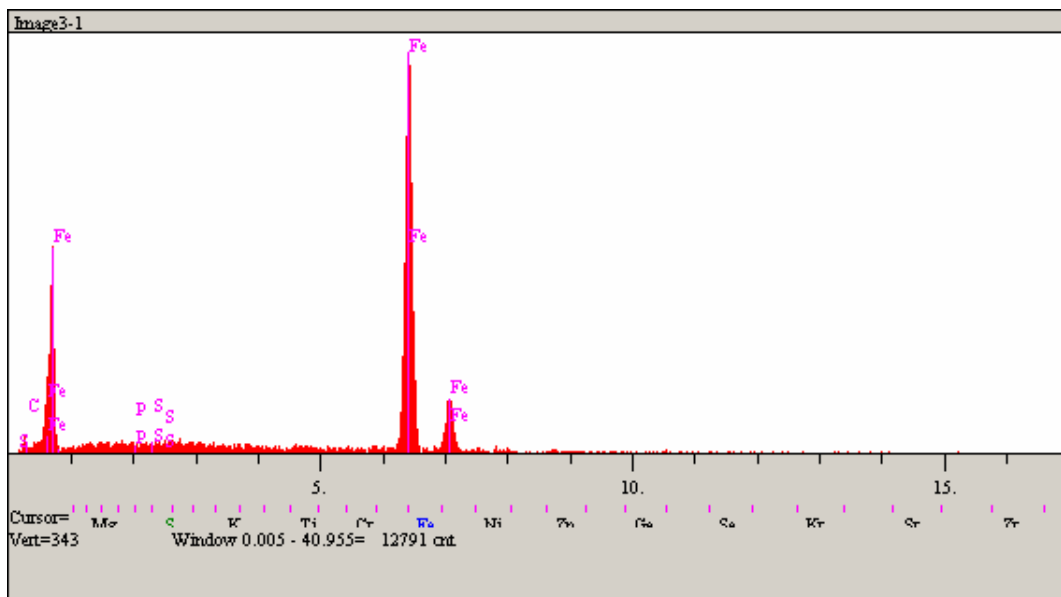


Şekil 5.21. Isıl işlemsiz numunenin SEM görüntüsü (1500X)



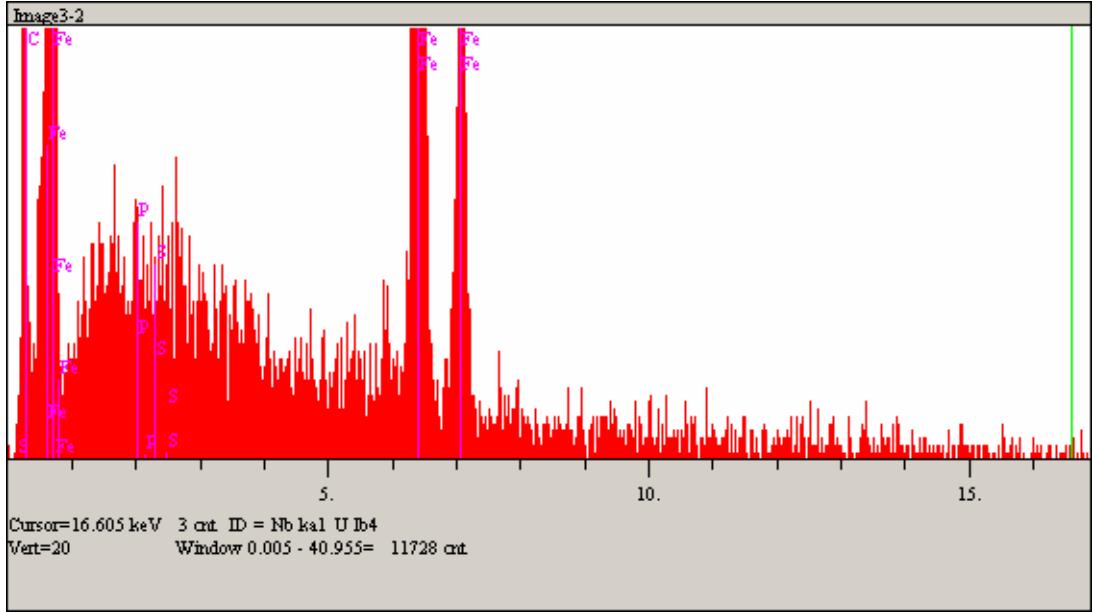
Şekil 5.22. Isıl işlemsiz haddesiz numunenin SEM görüntüsü (9500X)

Şekil 5.22' teki 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.23. Şekil 5.22' deki 1 nolu noktanın EDS analizi

Şekil 5.22'deki 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5.24. Şekil 5.22' deki 2 nolu noktanın EDS analizi

## BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR

St 12 kalite sac ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Isıl işlemsiz sacların, çekme dayanımı ısıtılmış hallerine göre daha düşük süneklilikleri ise daha yüksektir.
2. Karbonitürülenmiş saclarda çekme dayanımı artan kabuk kalınlığı ile artış göstermiştir.
3. Isıl işlemlenmiş saclarda, kabuk kalınlığı arttıkça eğme kuvveti de artış göstermiştir. Sacların kalınlıkları ne olursa olsun, ısıtılmamış hallerine göre elastik eğme gerilmeleri önemli ölçüde artmıştır.
4. Kabuk sertleştirilmiş saclarda, t/s oranının belirli bir değerine kadar eğme gerilmesi artmakta, sert kabuğun toplam kesitteki oranı % (12-13) ün üstündeki değerleri için eğme gerilmesi değeri düşme eğilimine girdiği gözlenmiştir. Bu davranış yüzeydeki faydalı basma türü artık gerilmelerin azalmasına ve kalın kabuğun gevrek kırılmaya teşvik ettiği şeklinde açıklanabilir.
5. Isıl işlemsiz sacların eğme deneyinde numunede ölçülen çökme miktarı 10 mm yi aşmasına rağmen yüzeyde çatlak oluşmamıştır. Isıl işlemlenmiş saclarda ise kabuk özelliklerine bağlı olarak erken kırılma gerçekleşmiş, bunun dışındaki numunelerde yüzeyde belirgin ayrılmalar görülmüştür.

6. Isıl işlemsiz parçaların, 1 saatlik tavlama süresi için tane irileşme kritik sıcaklığı 1000°C civarında olup, 1100°C sıcaklıkta irileşme belirgin bir şekilde kendini göstermiştir.

7. 1050°C'de 2.5 saat tavllanmış sacın tanelerinin büyük olmasından dolayı 2mm elastik çökme değeri için eğme kuvveti ısı işlemsiz saca göre %19 düşmüştür.

8. Kullanılan sacın S ve P miktarları standartların altında olmasına rağmen EDS analizleri sonuçlarında özellikle tane sınırlarında S ve P varlığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] “Çelik Yüzeylerin Kaplanması ”, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, Erdemir, 2006
- [2] USLU, İ., “AISI 1040 ve AISI P20 Kalıp Çeliklerinin Borlama Kinetiği ”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Mühendislik Fakültesi, Sakarya, Şubat 2004.
- [3] SAVAŞKAN, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Trabzon 1999
- [4] TOPBAŞ, M. A., “Isıl işlemler”, Yıldız 1993
- [5] GRAFEN, W., EDENHOFER, B., “New developments in thermo-chemical diffusion processes”, Surface & Coatings Technology, 200 (2005), p. 1830-1836
- [6] RETI, T., “ Residual Stresses in Carburised, Carbonitrided and Case–Hardened Components ”, Heat Treatment of Metals, 2003.4, p. 83-96
- [7] ÖZSARAÇ, U., YILMAZ, R., EKERER, A., UZUN, H., “ Sementasyon işlemi yapılan çeliklerde mikro sertlik ve mikro yapı değişimlerinin incelenmesi ”, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı 127
- [8] [www.info.lu.farmingdale.edu](http://www.info.lu.farmingdale.edu), Haziran 2006
- [9] KRAUSS, G., “Steels: Heat Treatment and Processing Principles”, ASM, Materials Park, Ohio, 1990
- [10] KULKA, M., PERTEK, A., “ Characterization of complex (B+C+N) diffusion layers formed on chromium and nickel-based low-carbon steel ”, Applied Surface Science, 218 (3003) p. 113-122
- [11] WEISSBACH, W., Çevirenler Prof. Dr. Selahattin Anık, Y. Müh. Eyüp Sabri Anık, “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi ”, Birsen Kitabevi, İst 1984
- [12] THEINING, K. E., Çeviren Doç. Dr. Adnan Tekin, “Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı”, 1984
- [13] Metals Handbook, “Heat Treating”, 9<sup>th</sup> Edition, vol 4., 1981

- [14] LAKHTIN, Y., "Engineering Physical Metallurgy and Heat-Treatment", Mir Publishers Moscow, 1977
- [15] PRABHUDEV, K. H., "Handbook of Heat Treatment of Steels", HMT Limited Bangalore, Tatta Mc Graw-Hill Publishing Company Limited New – Delhi, 1988
- [16] LUTHER, R. G., WILLIAMS, T. R. G., " Influence of surface reinforcement on the fatigue strength of low carbon steel ", Metallurgia and Meta Forming, March 1974, p. 72-77
- [17] DIETER, G. E., "Mechanical Metellurgy", Mc Graw Hill Metric Editions, Materials Science & Metallurgy, 1986

## ÖZGEÇMİŞ

Seçil EKŞİ, 26.10.1982’de İstanbul da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’ da, Bostancı İlkokulu ve Bostancı Ortaokulu’nda tamamladı. Lise öğrenimi İstanbul Halit Armay Süper Lisesi’nde tamamladı. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2004’te lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Haziran 2006’da Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümüne Araştırma görevlisi olarak atandı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmekte ve Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evlidir.