

**SÜRTÜNME KAYNAKLI OSTENİTİK-MARTENZİTİK
SÜBAPLARDAKİ NİTRÜRASYON GEVREKLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

166 550

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Müh. Mehmet KALK
(503031306)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Haziran 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Haziran 2005**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Barlas ERYÜREK
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Nurullah GÜLTEKİN (Y.T.Ü.)

(Handwritten signatures of the jury members)

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Günümüzde artık bir vazgeçilmez haline gelen otomobillerin kalbi olan motorun bir parçası olan supaplar, motorun çalışmasında önemli görevler üstlenmektedir. Görevlerini kusursuz olarak yerine getirmeleri için tasarlanan supaplar, yüksek sıcaklık, korozyon, darbeli çalışma ve aşınma gibi ağır etkenler altında çalışırlar. Bu şartlara direnç gösterecek supabın imalatında, seçilen malzeme ve kullanılan imalat yöntemleri supabın performansını belirleyecektir.

Yapılan deneysel çalışmada, ostenitik ve martenzitik supap çeliklerinin kullanıldığı ve sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirmenin yapıldığı supaplarda, supap yüzeyine aşınma ve korozyon direnci sağlamak için yapılan tuz banyosu nitrürasyonunun ardından ortaya çıkan gevrekliğin incelenmesi amaçlanmıştır.

Beni bu konuya yönlendiren ve çalışmam esnasında gerekli desteği vererek bana yardımcı olan, bilimsel düşünme konusunda beni geliştiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Barlas ERYÜREK'e teşekkür ederim. Bunun yanında sağladıkları teknik destekten ötürü SUPSAN yetkilileri Sn. Orhan KESİMGİL, Sn. Rıfat OCAK ve Sn. Muammer ÖZKAN'a teşekkür ederim. Son olarak bana deneysel çalışmalarım ile ilgili her konuda yardımcı olan Araştırma Görevlisi Makine Yüksek Mühendisi Sn. Ali Özgür ILGAZ ve diğer tüm Malzeme ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı çalışanlarına teşekkür ederim.

İstanbul, 2005

Mehmet KALK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. OSTENİTİK-MARTENZİTİK SUPAPLARIN İMALATI	3
2.1. Motor Supaplarının Tanıtılması	3
2.1.1. Supap nedir ve nerede kullanılır?	4
2.1.1.1 Emme Aşaması	6
2.1.1.2 Sıkıştırma	6
2.1.1.3 Yanma	7
2.1.1.4 Eksoz	8
2.1.2. Supapların çalışma prensibi	9
2.1.3. Supap imalatında kullanılan malzemeler	12
2.1.3.1 Supap alaşımlarının metalurjisi ve ısıt işlemleri	14
2.1.3.2 Supaplarda hasar oluşumu	16
2.1.3.3 Supapların uygulamada kullanımları	17
2.1.3.4 Supap tasarımı-malzeme seçimi ilişkisi	17
2.2. Ostenitik-Martenzitik Alaşımlardan Oluşan Supapların İmalatı	19
2.2.1. Ostenitik ve martenzitik supap çeliklerinin imalata hazırlanmaları	23
2.2.1.1 Ostenitik supap çeliğinin hazırlanması	23
2.2.1.2 Martenzitik supap çeliğinin hazırlanması	28
2.2.2. Sürtünme kaynağı	33
2.2.2.1. Sürtünme kaynağının avantajları, sınırlamaları ve uygulamaları	35
2.2.3. Fırın veya indüksiyon ile temperleme	36
2.2.3.1. İndüksiyon ile temperleme	37
2.2.4. Mekanik işlemler	40
2.2.5. Gerilim giderme işlemi	41
2.2.6. Tuz banyosu nitrürasyonu	42
2.2.6.1. Nitrürasyon işlemi nasıl gerçekleşir	43

3. YAPILAN DENEYLER ve SONUÇLARI	52
3.1. Fabrika İmalat Sürecinden Alınan Numuneler (Grup A)	53
3.1.1. A1 numuneleri	54
3.1.2. A2 numuneleri	55
3.1.3. A3 numuneleri	56
3.1.4. A4 numuneleri	57
3.1.5. A5 numuneleri	58
3.1.6. A6 numuneleri	59
3.1.7. Grup A numuneleri ortalama tokluk değerleri	60
3.2. Fabrika İmalat Sürecinde Değişiklik Yapılarak Elde Edilen Numuneler (Grup B)	61
3.2.1. B1 numuneleri	61
3.2.2. B2 numuneleri	63
3.2.3. B3 numuneleri	64
3.2.4. B4 numuneleri	65
3.2.5. B5 numuneleri	66
3.2.6. B6 numuneleri	67
3.2.7. B7 numuneleri	68
3.2.8. Grup B numuneleri ortalama tokluk değerleri	69
3.3. Isıl İşlemlerinin Bir Kısım İTÜ Laboratuvarlarında Yapılmış Numuneler (Grup C)	69
3.3.1. C1 numuneleri	70
3.3.2. C2 numuneleri	71
3.3.3. C3 numuneleri	72
3.3.4. C4 numuneleri	73
3.3.5. Grup B numuneleri ortalama tokluk değerleri	74
3.4. Grup A Numunelerine Uygulanan Mikroyapı ve Sertlik Taramaları	74
3.4.1. A4 numuneleri	75
3.4.2. A5 numuneleri	76
3.4.3. A6 numuneleri	78
3.4.4. A6 numuneleri Elektron Mikroskobu Görüntüleri	81
4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR	84
4.1. Değerlendirme	84
4.2. Sonuçlar	88
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	90

KISALTMALAR

ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
AÖN	: Alt Ölü Nokta
SAE	: Society of Automotive Engineers
EN	: European Norm
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HMT	: Hacim Merkezli Tetragonal



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Martenzitik supap alaşımları kimyasal bileşimi.....	13
Tablo 2.2. Ostenitik supap alaşımları kimyasal bileşimi.....	14
Tablo 2.3. Supap sap ve kafa imalatında kullanılan malzemelerin bileşimleri.....	20
Tablo 3.1. A1 numunelerine ait tokluk değeri.....	54
Tablo 3.2. A2 numunelerine ait tokluk değeri.....	55
Tablo 3.3. A3 numunelerine ait tokluk değeri.....	56
Tablo 3.4. A4 numunelerine ait tokluk değeri.....	57
Tablo 3.5. A5 numunelerine ait tokluk değeri.....	58
Tablo 3.6. A6 numunelerine ait tokluk değerleri.....	59
Tablo 3.7. B1 numunelerine ait tokluk değerleri.....	62
Tablo 3.8. B2 numunelerine ait tokluk değerleri.....	63
Tablo 3.9. B3 numunelerine ait tokluk değerleri.....	64
Tablo 3.10. B4 numunelerine ait tokluk değerleri.....	65
Tablo 3.11. B5 numunelerine ait tokluk değerleri.....	66
Tablo 3.12. B6 numunelerine ait tokluk değerleri.....	67
Tablo 3.13. B7 numunelerine ait tokluk değerleri.....	68
Tablo 3.14. C1 numunelerine ait tokluk değerleri.....	70
Tablo 3.15. C2 numunelerine ait tokluk değerleri.....	71
Tablo 3.16. C3 numunelerine ait tokluk değerleri.....	72
Tablo 3.17. C4 numunelerine ait tokluk değerleri.....	73
Tablo 3.18. Mikroyapı incelemesi için alınan numuneler.....	74
Tablo 3.19. A61 numunesi sertlik taraması değerleri.....	79
Tablo 3.20. A62 numunesi sertlik taraması değerleri.....	81
Tablo 3.21. İndüksiyon ile temperlemenin tokluğa etkisi (a) Tuz banyosu nitrürasyonu sonrası (b) Gerilim giderme sonrası.....	85
Tablo 3.22. Gerilim giderme sıcaklığının tokluğa etkisi.....	86
Tablo 3.23. İyon nitrürasyonun tokluğa etkisi.....	87

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil Ö.1 : Ostenitik-Martenzitik supap çeliğinin imalat süreci.....	xi
Şekil Ö.2 : Deney numunelerinin şematik gösterimi.....	xi
Şekil Ö.3 : Sıvı nitrürasyonlu supap numunesinin elektron mikroskobu görüntüsü.....	xii
Figure S.1 : Manufacturing processes of an austenitic-martensitic SS engine valve.....	xv
Figure S.2 : Sketch of a charpy impact test sample (dimensions in mm)....	xv
Figure S.3 : SEM picture of liquid nitrided sample engine valve surface	xvii
Şekil 2.1 : İçten yanmalı pistonlu motorların elemanları.....	4
Şekil 2.2 : İki parçalı supap konstrüksiyonu.....	4
Şekil 2.3 : Supap ve diğer elemanların silindir üzerindeki yerleşimi.....	5
Şekil 2.4 : 4 zamanlı bir motorda emme çevrimi.....	6
Şekil 2.5 : 4 zamanlı bir motorda sıkıştırma çevrimi.....	7
Şekil 2.6 : 4 zamanlı bir motorda yanma çevrimi.....	8
Şekil 2.7 : 4 zamanlı bir motorda eksoz çevrimi.....	9
Şekil 2.8 : Supap hareketini belirleyen kam lobları.....	9
Şekil 2.9 : Kam şekli ve supap hareketi arasındaki ilişki.....	10
Şekil 2.10 : Supap çalışmasının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.11 : Kam milinin külbütör üzerine monte edildiği motor tipi.....	11
Şekil 2.12 : Ostenitik supap ucuna martenzitik çelik kaynatılmış supap modeli.....	18
Şekil 2.13 : İki parçalı supapta sap ve kafanın gösterimi.....	19
Şekil 2.14 : Kurşun oksitin eksoz supabı üzerindeki görüntüsü.....	20
Şekil 2.15 : Ostenitik bölgeye alaşım elementlerinin etkisi.....	21
Şekil 2.16 : Paslanmaz çelikler için Schaeffler diyagramı.....	22
Şekil 2.17 : İki parçalı ostenitik-martenzitik supabın imalatı.....	23
Şekil 2.18 : Ostenitik paslanmaz çubuğun şişirilmesi.....	24
Şekil 2.19 : Soğan başı şeklini almış çubuğun dövülerek supap kafasının elde edilmesi.....	24
Şekil 2.20 : Katı çözeltiye alma.....	26
Şekil 2.21 : Katı çözeltiye alma anında oluşan mikroyapıların şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.22 : Guinte-Preston Bölgeleri'nin şematik olarak gösterimi.....	27

Şekil 2.23	: Yaşlandırma ile elde edilen sertliğe sıcaklık ve zamanın etkisi.....	28
Şekil 2.24	: Çökelme serleştirmesinin tüm aşamalarının şematik gösterimi.....	28
Şekil 2.25	: (a) HMK yapı ve (b) martenzitik (Hacim Merkezli Tetragonal) yapı.....	29
Şekil 2.26	: Karbon içeriğine bağlı olarak tetragonallığın değişimi.....	30
Şekil 2.27	: Martenzitik yapının mikroyapı görüntüsü.....	31
Şekil 2.28	: Çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemlerinin yapıldığı fırın.....	32
Şekil 2.29	: Temperleme işleminin yapıldığı fırın.....	33
Şekil 2.30	: Sürtünme kaynağı.....	34
Şekil 2.31	: Temperleme işleminin kaynak bölgesi sertliği üzerine etkisi.....	37
Şekil 2.32	: İndüksiyon ile temperlemenin şematik gösterimi.....	38
Şekil 2.33	: Temper gevrekliğinin gerçekleştiği sıcaklık aralıkları.....	39
Şekil 2.34	: Sürtünme kaynağı sonrası oluşan kaynak çapağı.....	41
Şekil 2.35	: Gaz nitrürasyonu işlemi esnasında azot yayını.....	44
Şekil 2.36	: γ' ve ϵ nitrürlerinin demir içinde çekirdeklenmesi.....	45
Şekil 2.37	: İçten ısıtmalı sıvı nitrürasyon fırını.....	47
Şekil 2.38	: Nitrürasyon işleminde oluşan beyaz tabaka.....	47
Şekil 2.39	: İyon nitrürasyonu deney düzeneği.....	49
Şekil 3.1	: Deney numunelerinin sınıflandırması.....	52
Şekil 3.2	: Numunelerin adlandırılması.....	53
Şekil 3.3	: Numune boyutlarının şematik gösterimi.....	53
Şekil 3.4	: Grup A numunelerine uygulanan imalat işlemleri.....	54
Şekil 3.5	: A1 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	55
Şekil 3.6	: A2 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	56
Şekil 3.7	: A3 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	57
Şekil 3.8	: A4 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	58
Şekil 3.9	: A5 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	59
Şekil 3.10	: A6 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	60
Şekil 3.11	: Grup A numuneleri ortalama tokluk değerleri.....	60
Şekil 3.12	: Grup B numunelerine uygulanan imalat işlemleri.....	61
Şekil 3.13	: B1 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	62
Şekil 3.14	: B2 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	63
Şekil 3.15	: B3 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	64
Şekil 3.16	: B4 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	65
Şekil 3.17	: B5 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	66
Şekil 3.18	: B6 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	67
Şekil 3.19	: B7 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterim.....	68
Şekil 3.20	: Grup B numuneleri ortalama tokluk değerleri.....	69

Şekil 3.21 : Grup C numunelerine uygulanan imalat işlemleri.....	70
Şekil 3.22 : C1 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	70
Şekil 3.23 : C2 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	71
Şekil 3.24 : C3 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	72
Şekil 3.25 : C4 numunelerine ait tokluk değerlerinin grafik gösterimi.....	73
Şekil 3.26 : Grup C numuneleri ortalama tokluk değerleri.....	74
Şekil 3.27 : A41 numunesi kırılma bölgesinin şematik gösterimi.....	75
Şekil 3.28 : A41 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı.....	75
Şekil 3.29 : A42 numunesi kırılma bölgesinin şematik gösterimi.....	76
Şekil 3.30 : A42 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı.....	76
Şekil 3.31 : A51 numunesi kırılma bölgesinin şematik gösterimi.....	77
Şekil 3.32 : A51 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı.....	77
Şekil 3.33 : A52 numunesi kırılma bölgesinin şematik gösterimi.....	77
Şekil 3.34 : A52 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı.....	78
Şekil 3.35 : A61 numunesi kırılma bölgesinin şematik gösterimi.....	78
Şekil 3.36 : A61 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı.....	79
Şekil 3.37 : A61 numunesi sertlik taraması.....	79
Şekil 3.38 : A62 numunesi kırılma bölgesinin şematik gösterimi.....	80
Şekil 3.39 : A62 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı.....	80
Şekil 3.40 : A62 numunesi sertlik taraması.....	81
Şekil 3.41 : A62 numunesi kırılma yüzeyi.....	82
Şekil 3.42 : A62 numunesi kırılma yüzeyi merkezinden görüntü.....	82
Şekil 3.43 : A62 numunesi kırılma yüzeyi merkezinden görüntü.....	83
Şekil 3.44 : Ortalama değerlerin karşılaştırılması.....	87

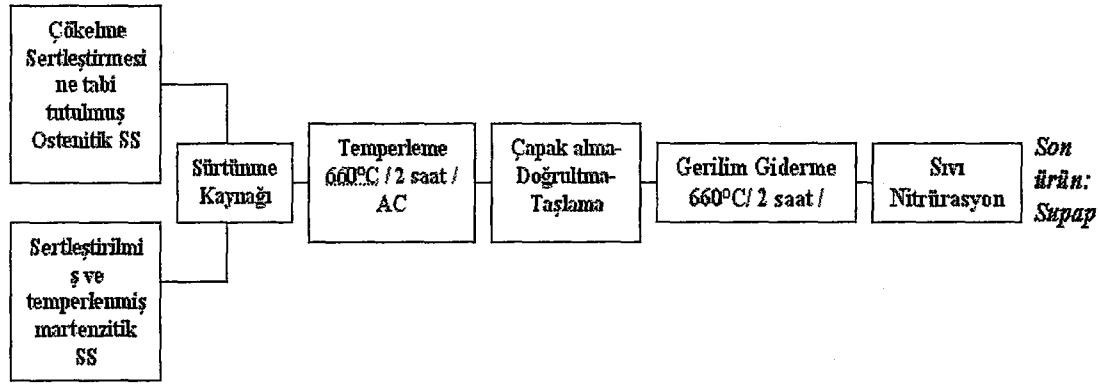
SÜRTÜNME KAYNAKLI OSTENİTİK-MARTENZİTİK SÜBAPLARDAKİ NİTRÜRASYON GEVREKLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüz dünyasında hemen herkes bir otomobile sahip olmak istemektedir. Otomobilin modern insanın yaşamında sahip olduğu önem ne ise motorunda otomobil için sahip olduğu önem aynı; belki daha fazladır. Motorun yapısında yer alan birçok parçadan biri de supaptır. Silindir kafasına yerleşmiş olan supap, emme, sıkıştırma, yanma ve eksoz çevrimlerinde önemli görevler üstlenmektedir. Supapların yüksek sıcaklık, aşınma, korozyon ve darbe gibi ağır motor çalışma koşullarına karşı dayanım gösterebilmeleri için tasarımları bu etkenlere karşı yapılmalıdır.

Bu çalışmada, ostenitik-martenzitik paslanmaz çelik supaplarda tuz banyosu nitrürasyonunun ardından meydana gelen gevreklik incelenmiştir. Çalışma konusu olan supap, *X45CrSi9-3* martenzitik supap çeliğinden ve *X53CrMnNiN21-9* ostenitik supap çeliğinden meydana gelmektedir. İki malzemenin birleştirilmesi bir katı hal kaynağı olan sürtünme kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Supap sapı martenzitik, supap kafası ise ostenitik supap çeliklerinden imal edilmektedir. İki parçalı olan konstrüksiyonun sebebi motor çalışma şartlarında gizlidir. Supap kafasının yer aldığı silindir içi yüksek sıcaklık altında olduğu için burada martenzitik çelik kullanılması martenzitik çelik üzerinde temperleme etkisinin oluşmasına yol açacaktır. Bu yüzden silindir kafası içinde yüksek sıcaklıklara dayanımlı ostenitik supap çelikleri kullanılmaktadır. Bunun yanında supap sapı nispeten daha düşük sıcaklıklarda ve gayd ile olan temasından dolayı aşınma etkisi altında çalıştığı için martenzitik supap çeliği sap olarak kullanılır.

Ostenitik-martenzitik supabın imalatı sırası ile şu işlemler gerçekleşmektedir: Sürtünme kaynağı, kaynaktan 2-7 gün sonra fırında temperleme, çapak alma, doğrultma, taşlama, gerilim giderme ve sıvı nitrürasyon. İmalat işlemleri ağırlıklı olarak ısıtıl işlemlerden oluştuğu için çalışmada ısıtıl işlemler üzerinde durulmuştur. Gevreklik probleminin sebebini ortaya çıkarmak için imalat sürecinin her aşamasından alınan numunelere Charpy Tipi Darbe Testi uygulanmıştır. Isıl işlemlerin farklı olduğu 3 grup numune hazırlanmıştır. Ostenitik-martenzitik supapların detaylı imalat süreci Şekil Ö.1'de görülmektedir.



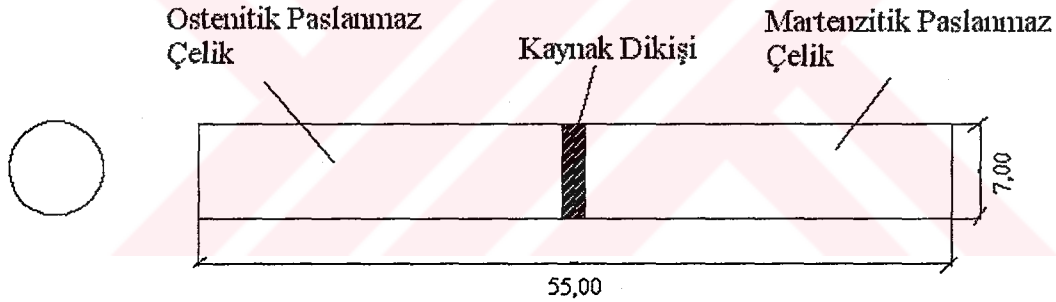
Şekil Ö.1: Ostenitik-Martenzitik Supap Çeliğinin İmalat Süreci

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri aşağıda verilmiştir.

X45CrSi9-3: 0.45% C, 2.9% Si, 0.50% Mn, 9.0% Cr

X53CrMnNiN21-9: 0.54% C, 0.20% Si, 9.0% Mn, 21.0% Cr, 4.0% Ni, 0.45%N

Deneylerde 7 mm çapında ve 55 mm uzunluğunda çentiksiz supap numuneleri kullanılmış ve bu numunelere Charpy Tipi Darbe Deneyi uygulanmıştır.



Şekil Ö.2: Deney Numunelerinin Şematik Gösterimi

Kullanılan numuneler 3 grup altında toplanmıştır.

- Grup A: Normal imalat sürecinden alınan numuneler
- Grup B: Değiştirilmiş imalat sürecinden alınan numuneler
- Grup C: Isıl işlemleri İTÜ laboratuvarlarında yapılmış numuneler

Gevreklik probleminin nedeni bulmak için ısıl işlemlerde bir takım değişiklikler yapılmıştır. Grup B numuneleri için yapılan değişiklikler;

- Kaynak işleminin ardından fırında temperleme yerine indüksiyon ile temperleme yapılması
- Gerilim giderme sıcaklığının 660°C'den 580°C'ye düşürülmesi

c) Sıvı (Tuz banyosu) nitrürasyon yerine iyon nitrürasyonu yapılması

Grup C numunelerinde yapılan değişiklikler ise;

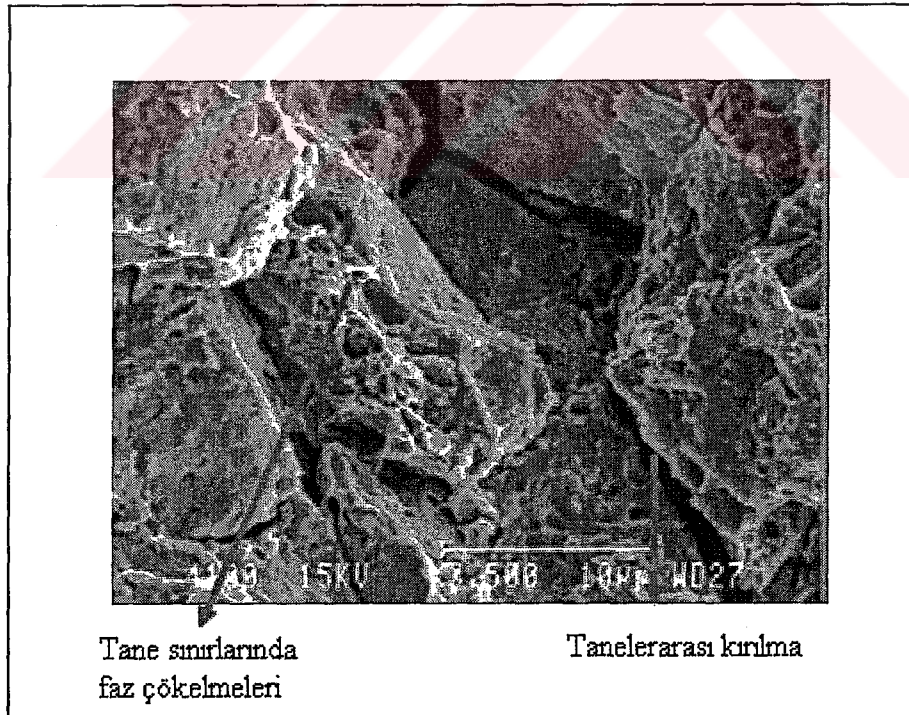
a) Isıl işlemleri İTÜ laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

b) Tüm ısı işlemlerden sonra havada soğutma yerine yağda soğutma yapılmıştır.

Yapılan deneyler neticesinde en kötü sonuçlar, normal üretim sürecinden alınan son ürün supap numunelerinde görülmüştür. Sıvı nitrürasyon işleminden de geçmiş olan supaplara fırında temperleme yerine indüksiyon ile temperleme yapıldığında tokluk değeri 0.03 J/mm^2 'den 0.05 J/mm^2 'ye çıkmıştır. Öte yandan bu değişikliklere ek olarak gerilim giderme sıcaklığı da azaltıldığında tokluğunun 0.03 J/mm^2 'den 0.07 J/mm^2 'ye çıktığı görülmüştür.

En iyi sonuçlar iyon nitrürasyonu kullanarak hazırlanan numunelerden elde edilmiştir. İyon nitrürasyonu uygulanan numunelerde temperleme işlemi de indüksiyon yöntemi ile yapılmıştır. Sonuç olarak tokluk değeri 0.03 J/mm^2 'den 0.37 J/mm^2 'ye çıkarılmıştır.

Normal üretim sürecinde yer alan sıvı nitrürasyon işleminin ardından meydana gelen ciddi tokluk azalmasının yaygın mekanizmasına; yani zamana ve sıcaklığa bağlı olduğu düşünülmektedir. Şekil Ö.3'de normal üretim sürecinin sonundan alınan supap numunesi kırılma yüzeyinin elektron mikroskobu görüntüsü verilmiştir. Burada tane sınırlarındaki faz çökelmeleri ve tanelerarası kırılmalar görülmektedir.



Şekil Ö.3: Sıvı Nitrürasyonlu Supap Numunesinin Elektron Mikroskobu Görüntüsü

Sonuçların incelenmesi ile bulunan diğer bir noktada her numune grubunda numunelere ait tokluk değerinin taşlama işlemi sonrasında artması ve bu işlemin

ardından yapılan gerilim giderme ve sıvı nitrürasyon işlemlerinden sonra düşmesidir. Taşlama işleminin ardından meydana gelen tokluk artışının, sürtünme kaynağı ile temperleme işlemi arasındaki bekleminin yol açtığı yüzey çatlaklarının yok edilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Gerilim giderme işleminden sonra meydana gelen azalma ise temper gevrekliği ile ilişkilendirilmektedir. Son olarak sıvı nitrürasyon işlemi sonrasında meydana gelen ve ciddi miktarda meydana gelen tokluk değeri azalmasının yukarıda da belirtildiği gibi tane sınırlarında meydana gelen faz çökelmeleri olduğu görülmüştür.

Ostenitik-martenzitik supabın tokluk değerinin iyileşmesi birkaç noktaya bağlıdır. Bunlardan ilki kaynak sonrası oluşan yapının çok sert olmasına bağlı olarak temperlenmeden bekletilmesi sonucu oluşan su verme çatlaklarını engellemektir. Bunun sağlanması için de kaynak sonrası temperleme işlemi beklenmeden gerçekleştirilmelidir. Diğer bir nokta da gerilim giderme sıcaklığının azaltılması ile tokluk değerinin artmasıdır. Ayrıca sıvı nitrürasyon işleminin yayınma temelli bir işlem olduğu düşünüldüğünde istenilen sertlik ve derinlik değerlerinin sağlanması kaydıyla nitrürasyon işlem sıcaklığı ve süresi azaltılarak tokluk değerlerinde artış sağlanabileceği düşünülmektedir.



NITRIDING EMBRITTLEMENT IN FRICTION-WELDED AUSTENITIC-MARTENSITIC ENGINE VALVES

SUMMARY

In modern world, automobiles are a phenomenon that almost every mankind wants to have one of them. Like the importance of automobile in modern human's life, engine has same, may be more, important for an automobile. An engine includes many parts and one of them is engine valve. An engine valve locates at cylinder head and has an important role at emission, compression, power and exhaust cycles. Because of engine operating conditions such as high temperature, wear, corrosion and impact, valves shall be designed and manufactured resistant against these affects. Otherwise, any valve failure will cause engine failure.

In this study, an embrittlement problem seen after liquid nitriding in an austenitic-martensitic stainless steel (SS) engine valve was investigated. This valve is made from *X45CrSi9-3* martensitic valve alloy as valve stem and *X53CrMnNiN21-9* austenitic valve alloy as valve head. These two materials are welded together with friction welding which is a solid-state welding method. This construction is chosen because of engine operating conditions. Martensitic SS has better wear resistance than austenitic SS. But they are used as valve stem because of contact to valve guide and lower temperatures due to inside of the cylinder. Martensitic SS can not be used as valve head due to high temperature in the cylinder which can cause a tempering effect on martensitic SS. Austenitic SS are used as valve head operating in cylinder against burning air-fuel mixture which is hot and corrosive environment because of their resistance to high temperature and corrosion.

Manufacturing of an austenitic-martensitic SS engine valve includes a number of processes which are respectively friction welding, tempering in a furnace after 2-7 days from welding, machining the weld flash, cold straightening, grinding, stress relief and liquid nitriding. Heat treatment processes are heavily present in the manufacturing operations. So the study was concentrated on these heat treatments. To find the reason of the embrittlement problem, toughness values of these valve samples taken from every stage of manufacturing process were obtained by using Charpy Type Impact Test in these experiments. There were three groups of valve samples having different heat treatment processes. The detailed manufacturing process of the studied austenitic-martensitic SS engine valve which was investigated in this study is shown in Figure S.1.

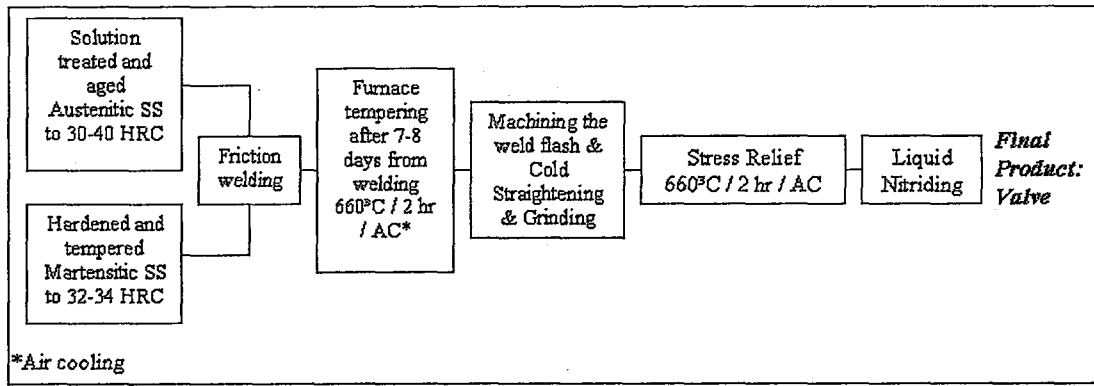


Figure S.1: Manufacturing Processes of an Austenitic-Martensitic SS Engine Valve

The materials that were used in this study are *X45CrSi9-3* martensitic SS as valve stem and *X53CrMnNi21-9* austenitic SS as valve head. Their chemical compositions are:

X45CrSi9-3: 0.45% C, 2.9% Si, 0.50% Mn, 9.0% Cr

X53CrMnNi21-9: 0.54% C, 0.20% Si, 9.0% Mn, 21.0% Cr, 4.0% Ni, 0.45%N

The experiments aimed to find toughness values of austenitic-martensitic SS engine valve samples which were taken from every stage of manufacturing process by using Charpy Impact Test Method. The notch-less samples that used for Charpy Impact Test were 7 mm in diameter and 55 mm in length.

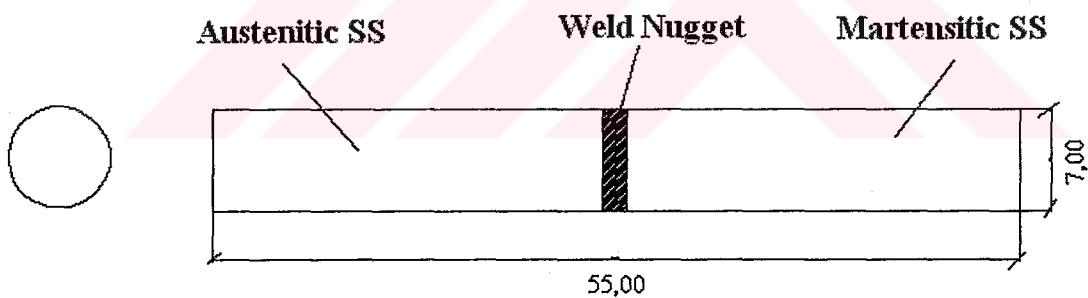


Figure S.2: Sketch of a Charpy Impact Test Sample (dimensions in mm)

The Charpy Type Impact Tests are performed for three groups of samples:

- i. Group A: Samples taken from normal manufacturing processes
- ii. Group B: Samples taken from modified manufacturing processes
- iii. Group C: Samples that are heat treated in ITU laboratories

Some modifications were made on normal manufacturing process, especially in heat treatments, to determine the source of embrittlement problem. These modifications for Group B samples were;

- a) Induction tempering instead of furnace tempering after welding process
- b) Reducing stress relief temperature from 660°C to 580°C
- c) Ion nitriding instead of liquid nitriding

The only differences of Group C samples are that;

1. They were heat treated in ITU laboratories
2. The samples were oil quenched instead of air cooling after heat treatment

Liquid nitriding process for Group C samples were again made by subcontractor.

By the experiments, we see that worst results belong to samples which were taken from normal manufacturing process. When we applied induction tempering instead of furnace tempering, toughness value increased from 0.03 J/mm² to 0.05 J/mm² for liquid nitrided samples. This result points that waiting after friction-welding increases the quenching cracking existence which decreases the final toughness of an engine valve.

Secondly, when the operating temperature of stress relief heat treatment was reduced from 660°C to 580°C, the toughness value of final product sample increased from 0.06 J/mm² to 0.07 J/mm² for induction tempered and liquid nitrided samples. In another hand, reducing stress relieving temperature and using induction tempering instead of furnace tempering, the toughness value was increased from 0.03 J/mm² to 0.07 J/mm².

Finally, ion nitriding gives the best results for a final product valve sample. In ion nitrided samples, induction tempering was used after friction welding process. So the toughness value increased from 0.03 J/mm² to 0.37 J/mm² with respect to the ones obtained by normal manufacturing processes.

The severe toughness decrease in normal manufacturing process, especially after liquid nitriding process, is related to diffusion mechanism so to time and temperature. In Figure S.3, SEM picture of intergranular cracking and phase precipitations at phase boundaries is shown.

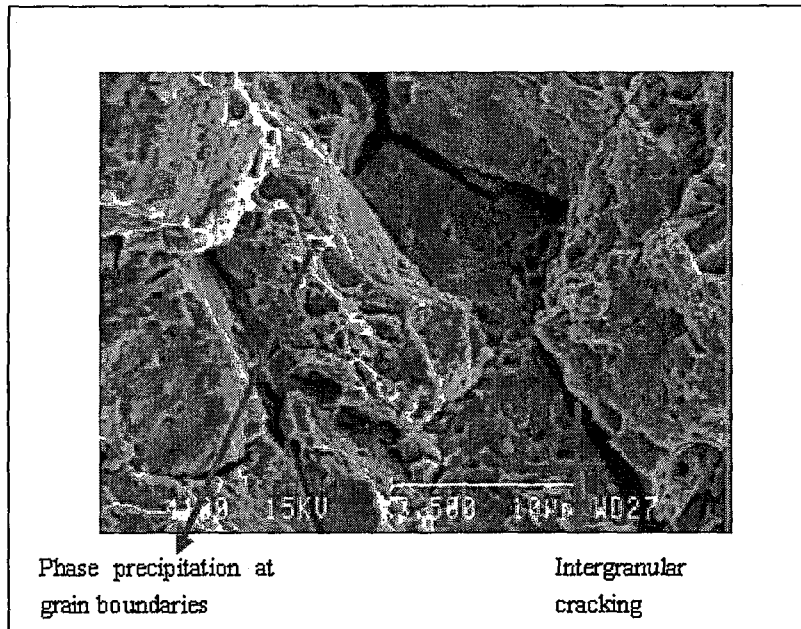


Figure S.3: SEM Picture of Liquid Nitrided Sample Engine Valve Surface

Another point is that toughness values of the specimens increased after the grinding process and then decreases through stress relieving treatment and liquid nitriding process. We think that toughness value of valve increased after grinding because of machining the surface cracks which occurred during the waiting time between friction welding process and tempering process. And temper embrittlement effect caused a decrease after stress relieving treatment. Furthermore, as seen above, because of phase precipitations in the grain boundaries during the liquid nitriding process, a severe toughness decrease happened.

An improvement in austenitic-martensitic stainless steel (SS) valves' toughness is related to a few points. First of them is untempered welded valve sample has great hardness and waiting will cause quenching cracks. So the tempering heat treatment should be done by using induction tempering and tempering process should immediately be applied after friction-welding process and by this method quenching cracks can be avoided. The other point is operating temperature of stress relief. Reducing stress relief temperature increases the toughness of engine valve. And finally ion nitriding process does not cause any embrittlement. The nitriding embrittlement problem that occurs in liquid nitriding process is related to diffusion mechanism. So reducing the liquid nitriding temperature and time may give positive results. But the most important point in all these modifications, the required valve specifications such as surface hardness and case depth shall be satisfied.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada otomobil motorlarında kullanılan martenzitik ve ostenitik paslanmaz supap çeliklerinden imal edilmiş supaplarda sıvı nitrürasyon işleminin ardından meydana gelen gevreklik problemi incelenmiştir.

Bilindiği gibi otomobil motorları 4 zamanlı motorlardır. Bunlar sırası ile emme, sıkıştırma, yanma ve eksoz çevrimleridir. İçerisinde yanma işleminin gerçekleştiği silindirin kafasına yerleştirilmiş olan supaplar, her dört çevrimde de önemli görevler üstlenmektedir. Bu görevler özet olarak, hava-yakıt karışımının emilmesi, sıkıştırma ve yanma çevrimi esnasında silindirde tam sızdırmazlık sağlanması ve yanma çevrimi sonrasında ortaya çıkan gazların silindirden atılması şeklinde sıralanabilir.

İçten yanmalı motorların çalışma sıcaklığı ortalama olarak 600°-800°C civarındadır. Yüksek sıcaklık etkisinin yanında supap ve supap yuvası arasındaki boşluktan kaynaklanan darbeli çalışma ve yanma çevrimi esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan ötürü oluşan korozyona bağlı olarak supaplar ve özellikle eksoz supapları mekanik ve kimyasal olarak zorlanmaktadırlar. Supap malzemesi ve supaba imalat esnasında uygulanacak olan işlemler, çalışma şartlarına karşı gerekli dayanımı sağlayacak nitelikte olmalıdır. Aksi takdirde motorun çalışması esnasında supaplarda meydana gelecek bir hasarın telafisi olmayacaktır.

Araştırma konusu olan motor supapları, martenzitik ve ostenitik paslanmaz supap çeliklerinden oluşmaktadır. Bu iki malzeme bazı işlemlerden geçirilerek hazırlandıktan sonra sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilmektedirler. Sürtünme kaynağı kullanılarak elde edilen supap, ağırlıklı olarak ısı işlemlerden geçmekte ve bunların yanında da çapak alma, doğrultma gibi mekanik işlemlere tabi tutulmaktadır. Tüm bu işlemler bittikten sonra supap yüzeyine aşınmaya karşı yeterli sertliğin ve korozyon direncinin sağlanması amacı ile sıvı nitrürasyon işlemi uygulanmaktadır.

Martenzitik ve ostenitik paslanmaz supap çeliklerinden imal edilen supaplarda sürtünme kaynağından itibaren toklukta dşkte olsa azalma ve son olarak sıvı nitrürasyon işleminin ardından tokluk değerlerinde büyük azalmalar görülmektedir. Tokluk değerlerindeki azalmanın sebebini bulmak için supap üretim sürecinde yer alan her aşamadan 7 mm çapında ve 55 mm uzunluğunda çentiksiz numuneler alınarak "Charpy Tipi Darbe Deneyi" uygulanmıştır. Ayrıca sorunun kaynağını bulabilmek ve çözüm sağlayabilmek için normal imalat sürecinin dışında işlemler yapılarak numuneler hazırlanmış ve bu numunelere de darbe deneyi uygulanmıştır. Farklı imalat yöntemleri ile elde edilen numune gruplarına uygulanan darbe deney sonuçları karşılaştırılarak son ürün olan supaba ait tokluğun istenilen değere ulaşması için yapılması gereken değişiklikler ortaya konulmuştur. Ayrıca yapılan mikroyapı çalışmaları ile darbe deneyleri neticesinde oluşan kırılmanın nereden ve hangi şekilde meydana geldiğinin bulunmasına çalışılmıştır.



2. OSTENİTİK-MARTENZİTİK SUPAPLARIN İMALATI

Bu bölüm, 2 alt bölümden oluşmaktadır. Alt bölümlerde sırası ile motor supaplarının tanıtılması ve ostenitik-martenzitik paslanmaz supap çeliği malzemeli supapların imalatı konuları ele alınacaktır.

2.1 Motor Supaplarının Tanıtılması

İçten yanmalı dıştan ateşlemeli bir motorun elemanları, çevrimdeki işlevlerini gerçekleştirecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. İçten yanmalı motor elemanları Şekil 2.1’de görüldüğü gibi 4 ana grup altında toplanabilir.

Motorda gerçekleştirilen çevrim tam manada termodinamik bir çevrim değildir. Çünkü iş gazının veya dolgunun çevrimin başındaki ve sonundaki durum büyüklükleri aynı değildir. Dolgu, çevrim başında dıştan ateşlemeli motorlarda, hava-yakıt karışımı; içten ateşlemeli motorlarda atmosfer havası iken çevrim sonunda eksoz gazıdır. Motor çevriminin her iki ucu da açıktır. Her defasında çevrime taze dolgu emilir ve sonunda eksoz gazı olarak çevreye atılır. Bu işlem periyodik olarak tekrarlanır. Bu işleyiş, emme ve eksoz supaplarının kullanılmasını zorunlu kılar [1].

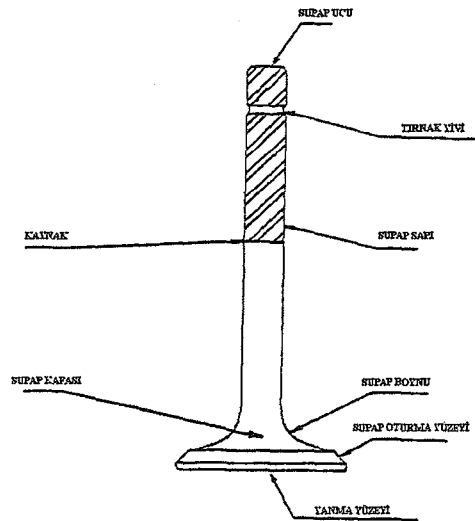
İçten Yanmalı Ötelemeli Pistonlu Motorların Elemanları

Güç İletimi	Emme ve Eksoz	Karışım ve ısı temini	Yağlama ve Soğutma Elemanları
- Piston - Piston Pimi - Biyel - Krank Mili	- Emme supabı - Eksoz supabı - Kam mili - Kam mili tahrik dişlisi veya zinciri - İtecek pabuçları - Kulbütörler - Supap tutucuları - Supap yayları	- Karbüratör - Ateşleme düzeneği	

Şekil 2.1: İçten Yanmalı Pistonlu Motorların Elemanları

2.1.1 Supap nedir ve nerede kullanılır?

İçten yanmalı motorlarda yanma odası görevi gören silindir içine yakıt-hava karışımının alınmasını ve bu karışımın yanması sonucu oluşan artık gazların silindir dışına atılmasını doğru zamanda açılıp kapanarak sağlayan ve kapalı konumda tam sızdırmazlık sağlaması gereken motor elemanıdır. Kısaca supaplar, krank milinin her iki devrinde bir kez açılıp kapanarak motorun enerji verebilmesi için gerekli hava-yakıt karışımını yanma odasına alır ve yanma sonucu çıkan artık gazları dışarıya atarlar [2, 3].



Şekil 2.2: İki Parçalı Supap Konstrüksiyonu

Bir supap, gayd, tırnak ve supap yayı ile birlikte çalışmaktadır.

Gayd; silindir kafasında supap sapları için bulunan kılavuz deliklerdir. Supap sapı ile boşluklu olarak temasta olduklarından supapta aşınmanın yanı sıra darbeli çalışmaya da sebebiyet verirler. Yıpranmış bir gayd, yanma odasına yağ girmesine neden olur ve araç eksozundan mavi gaz çıkar.

Tırnak; supap üzerinde bulunan oyuklara yerleşerek supabı tutar.

Supap yayı; Silindir içine doğru hareket eden supabın, eski konumuna dönmesini sağlar.

Supap ve diğer elemanları Şekil 2.3’de görülmektedir [4].



Şekil 2.3: Supap ve Diğer Elemanların Silindir Üzerindeki Yerleşimi

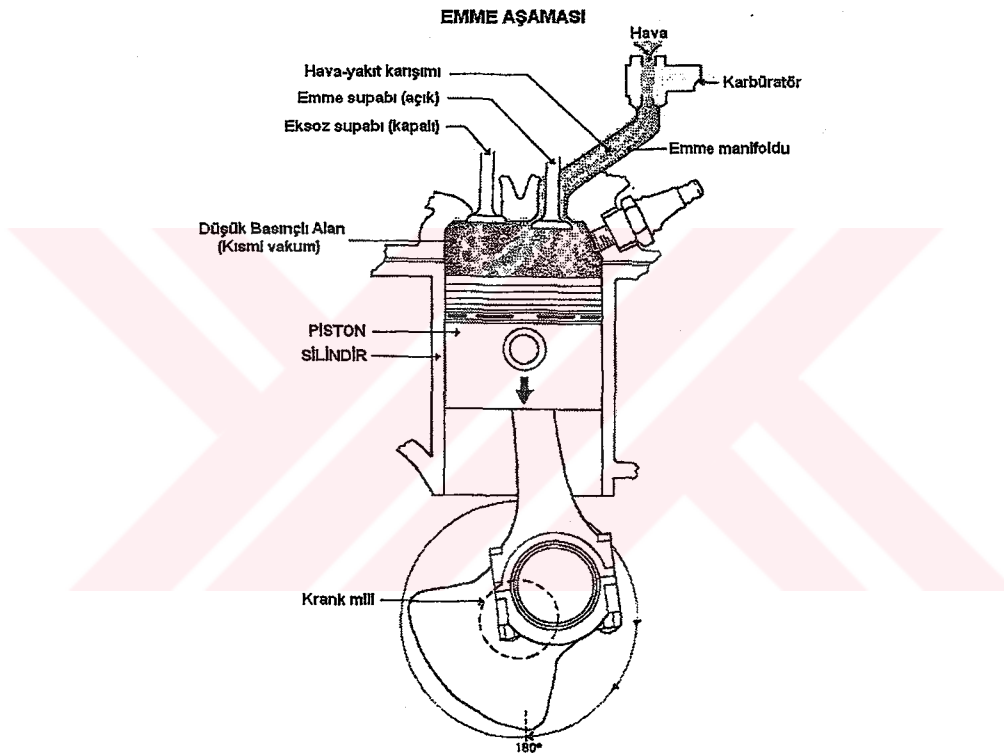
Otomobil motorları 4 zamanlı motorlardır ve bu zamanlar sırası ile

- Emme
- Sıkıştırma
- Yanma
- Eksoz

aşamalarından oluşmaktadır. Supapların aktif olarak görev aldığı bu aşamalar ile ilgili bilgi ve supapların görevi aşağıda verilmiştir.

2.1.1.1 Emme aşaması

Piston, Üst Ölü Nokta'da (ÜÖN) iken emme supabı açıktır. Pistonun aşağıya doğru hareket etmesine bağlı olarak yanma odası içerisinde vakum oluşur ve hava-yakıt karışımı açık olan emme supabının bulunduğu girişten silindir içine dolar. Piston Alt Ölü Nokta'ya (AÖN) ulaştığında emme supabı kapanmaya başlar. 4 zamanlı motorda meydana gelen emme aşamasına ait şematik gösterim Şekil 2.4'de yer almaktadır [5].

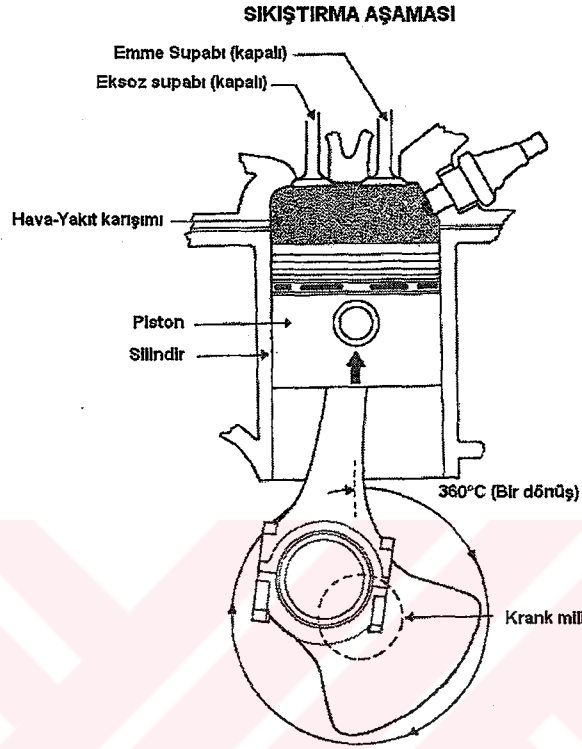


Şekil 2.4: 4 Zamanlı Bir Motorda Emme Çevrimi

2.1.1.2 Sıkıştırma

Silindir içine hava-yakıt karışımının dolmasının ardından piston, AÖN'dan ÜÖN'ya hareket etmeye başlar. Pistonun yukarı doğru hareket etmesi ile yakıt-hava karışımı sıkıştırılır ve daha iyi karışmaları sağlanmış olur. Burada önemli olan nokta sıkıştırma anında supapların tam sızdırmazlık sağlamasıdır. Sıkıştırma nedeni ile hava-yakıt karışımının sıcaklığı artar. Sıkıştırma çok fazla olursa, yakıt-hava karışımı kendi kendine yanabilir ki bu da piston daha ÜÖN'ya ulaşmadan patlamanın

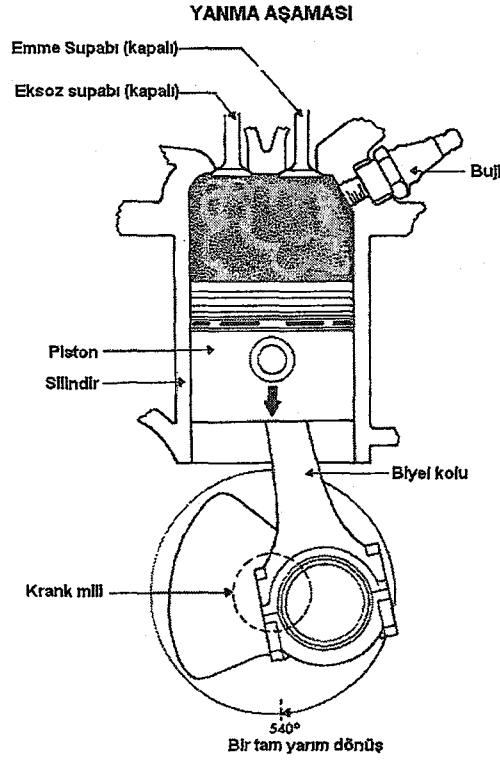
gerçekleşmesi demektir. Bu yüzden yapılan sıkıştırmanın miktarı, yakıt-hava karışımının kendi kendine yanmasına neden olmamalıdır. 4 zamanlı motorda meydana gelen sıkıştırma aşamasına ait şematik gösterim Şekil 2.5’de yer almaktadır [5].



Şekil 2.5: 4 Zamanlı Bir Motorda Sıkıştırma Çevrimi

2.1.1.3 Yanma

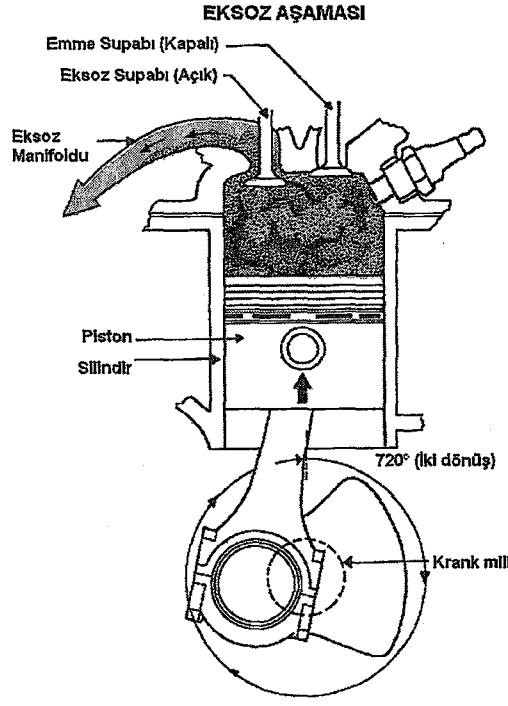
Yanma esnasında hem eksoz hem de emme supapları kapalıdır. Piston ÜÖN’ya vardığında sıkıştırılmış yakıt-hava karışımı dışarıdan verilen kıvılcım ile tutuşturulur. Karışım hızla yanar ve oluşan gazlar pistonu aşağıya doğru iter. Bu aşamada da sızdırmazlık çok önemlidir. Çünkü sızıntı olması durumunda enerjinin bir kısmı boşa harcanacaktır. 4 zamanlı motorda meydana gelen yanma aşamasına ait şematik gösterim Şekil 2.6’da yer almaktadır [5].



Şekil 2.6: 4 Zamanlı Bir Motorda Yanma Çevrimi

2.1.1.4 Eksoz

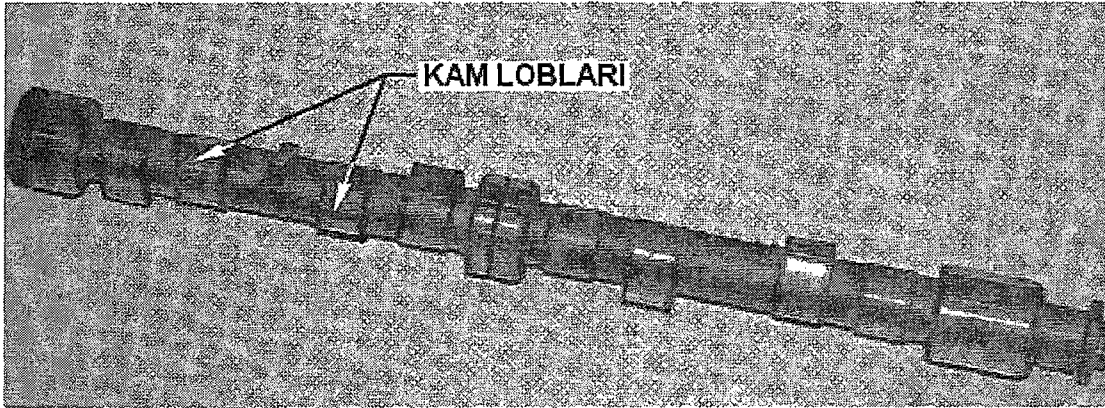
Yanma sonucu AÖN'ya giden piston tekrar yukarı çıkmaya başladığında eksoz supabı açılır. Piston yukarı çıktıkça yanmış gazlar eksoz supabının bulunduğu çıkıştan dışarıya atılırlar. Piston ÜON'ya yaklaştığında eksoz supabı kapanmaya başlarken emme supabı da açılmaya başlar. 4 zamanlı motorda meydana gelen eksoz aşamasına ait şematik gösterim Şekil 2.7'de yer almaktadır [5].



Şekil 2.7: 4 Zamanlı Bir Motorda Eksoz Çevrimi

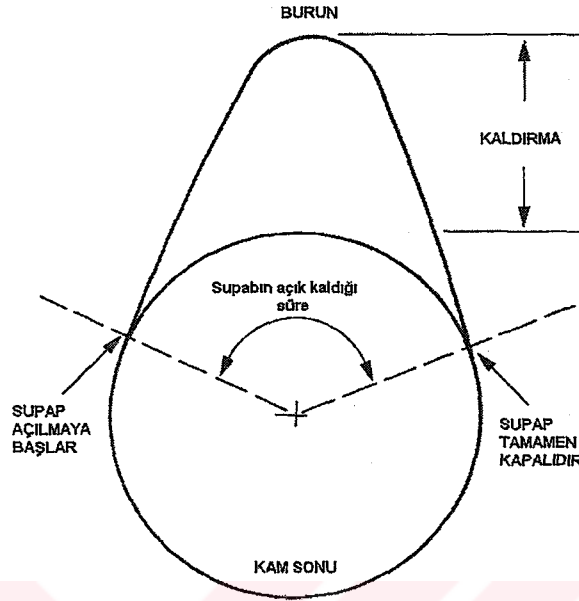
2.1.2 Supapların çalışma prensibi

Emme ve eksoz supaplarının doğru zamanda açılıp kapanmaları hareketini krank milinden alan kam mili sayesinde gerçekleşmektedir. Krank milinin hareketi bir dişli ya da zincir mekanizması ile kan miline aktarılmaktadır. Kam mili üzerinde her silindir için iki adet olmak üzere kamlar yer almaktadır.



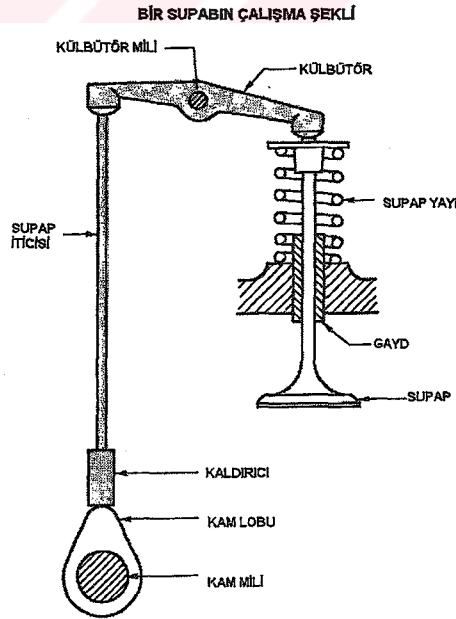
Şekil 2.8: Supap Hareketini Belirleyen Kam Loblari

Kam mili üzerinde yer alan kamların şekli, supapların ne şekilde ve hangi süre ile açılacağını belirlediği için oldukça önemlidir. Açılmanın hızı ve miktarı ve kapanmanın hızı kamın şekline bağlıdır.



Şekil 2.9: Kam Şekli ve Supap Hareketi Arasındaki İlişki

Supabın açık kalacağı süre kamın burun şekline göre belirlenmektedir. Supap hareketini sağlayan mekanizmanın diğer elemanları kaldırıcı, supap itici ve külbütör'dür.



Şekil 2.10: Supap Çalışmasını Şematik Gösterimi

Supap kaldırııcıları, kamın hareketini takip ederek kam hareketini supap iticisine aktarır. Supap kaldırııcıları;

- Katı kaldırııcılar
- Hidrolik kaldırııcılar
- Kam uyduları

olmak üzere üç ayrı tipte olabilirler.

Supap iticileri, kaldırııcı ve külbütör arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Mümkün olduğunca hafif şekilde imal edilirler. Supap iticileri, sadece kam milinin motor bloğu içinde olması durumlarında kullanılırlar.

Külbütör, kam milinden alınan hareketi supaba iletmek ile görevlidir. Külbütör aracılığı ile supap açılır ya da kapanır. Külbütörün en önemli avantajı mesnet noktasının değiştirilebilir olmasıdır. Böylece kam tarafından uygulanan daha az kaldırma kuvveti ile daha çok supap hareketi sağlanabilir.

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi bazı motorlarda kam doğrudan külbütör üzerine konulur ve supap iticisi kullanılmaz [5].



Şekil 2.11: Kam Milinin Külbütör Üzerine Monte Edildiği Motor Tipi

2.1.3 Supap imalatında kullanılan malzemeler

Supap malzemesi olarak EN10090:1998 - İçten Yanmalı Ve Pistonlu Motorların Giriş Ve Çıkış Supaplarının İmalatında Kullanılan Malzemeler standardına uygun malzemeler kullanılmaktadır. Eksoz supapları için yüksek sıcaklık ve korozyon etkilerine dayanıklı olan Sınıf III çeliklerin kullanılması gereklidir. Eksoz supaplarından beklenen özellikler:

- Yüksek sıcaklıklara dayanım
- Ani sıcaklık değişimlerine dayanım
- Korozyona dayanım
- Yorulmaya dayanım
- Darbelere dayanım
- Aşınmaya dayanım

şeklinde sıralanmaktadır.

Otomobil motorlarında kullanılan supaplar demir, nikel, titanyum ve kobalt temelli metalik alaşımlarının çoğu zaman birbirleri ile farklı kombinasyonlar ile kaynatılması ile imal edilirler.

Eksoz supapları, yanmış artık gazlara maruz kaldığı için emme supaplarından daha zor şartlar altında çalışmaktadır. Buna bağlı olarak emme supaplarında martenzitik ve ostenitik çelikler kullanılırken eksoz supaplarında martenzitik alaşımlar, ostenitik alaşımlar ve süper alaşımlar kullanılmaktadır. Titanyum alaşımları, yüksek performans gerektiren ve sınırlı üretimin olacağı durumlarda hem emme hem de eksoz supabı olarak kullanılabilir. Ayrıca özel demir, nikel ve kobalt temelli alaşımlar supap kafasının oturma yüzeyine kaynatılarak oturma yüzeyinin, aşınma dayanımı ve korozyon direnci artırılır.

Society of Automotive Engineers (SAE), supapları ağırlıklı olarak içerdikleri malzemeye göre sınıflandırmaktadır. Emme supapları, karbon, düşük alaşımlı veya sıcaklık ve korozyona dirençli yüksek alaşımlı çeliklerden imal edilebilmektedir.

Emme supabı imalatında karbon ve düşük alaşımlı çelik kullanılırsa “NV” ön adı kullanılırken yüksek alaşımlı çelik kullanılması durumunda “HNV” ön adı kullanılmaktadır [6].

Eksoz supapları sertleşebilen martenzitik çelikler, ostenitik çelikler ve süper alaşımlardan imal edilebilmektedir. Eksoz supaplarında alaşım elementi olarak demir, nikel ve kobalt kullanılabilir. Eksoz supabı imalatında ostenitik çelik alaşımı kullanılırsa “EV” ön adı kullanılırken yüksek dayanımlı çelikler kullanıldığında “HEV” ön adı kullanılmaktadır. SAE’de yer alan martenzitik ve ostenitik supap alaşımlarının ağırlıkça ve yüzde olarak kimyasal bileşimleri sırası ile Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de görülmektedir.

Tablo 2.1: Martenzitik Supap Alaşımları Kimyasal Bileşimi

UNS NR/ ISO 683/15	TİCARİ	ENKİ SAE ADI	C	Mn	P (max)	S (max)	Si	Cr	Ni	W	Mo	Fe	DİĞER
H15410	1541H	NV 1	0.35/0.45	1.25/1.75	0.040	0.050	0.15/0.35	-	-	-	-	Temel	
G15470	1547	NV 2	0.43/0.51	1.35/1.65	0.040	0.050	-	-	-	-	-	Temel	
G31400	3140	NV 4	0.38/0.43	0.70/0.90	0.040	0.040	0.15/0.35	0.55/0.75	1.10/1.40	-	-	Temel	
G88450	8845	NV 5	0.43/0.48	0.75/1.00	0.035	0.040	0.15/0.35	0.40/0.60	0.40/0.70	-	0.15/0.25	Temel	
H51500	5150H	NV 6	0.47/0.54	0.60/1.00	0.035	0.040	0.15/0.35	0.60/1.00	-	-	-	Temel	
H41400	4140H	NV 7	0.37/0.44	0.65/1.10	0.035	0.040	0.15/0.35	0.75/1.20	-	-	0.15/0.25	Temel	
K14072	B16		0.36/0.44	0.45/0.70	0.040	0.040	0.15/0.35	0.80/1.15	-	-	0.50/0.65	Temel	V 0.25/0.35
	GM-8440	NV 8	0.35/0.45	0.20/0.40	0.030	0.040	3.60/4.20	1.85/2.50	0.25 max	-	0.10 max	Temel	Cu 0.25 max
S65007/ X 45 CrSi 9 3	Si 1	HNV 3	0.40/0.50	0.80 max	0.040	0.030	2.70/3.30	8.00/10.00	0.60 max	-	-	Temel	
S65006	Si XB	HNV 6	0.75/0.90	0.80 max	0.040	0.040	1.75/2.60	19.00/21.00	1.00/1.70	-	-	Temel	
S62200	422 SS	HNV 8	0.20/0.25	1.00 max	0.040	0.030	0.75 max	11.00/12.50	0.50/1.00	0.75/1.25	0.75/1.25	Temel	V 0.15/0.30 Cu 0.50 max
S64004	SUH 11M		0.47/0.55	0.60 max	0.030	0.030	1.00/2.00	7.50/9.50	0.60 max	-	-	Temel	

Tablo 2.2: Ostenitik Supap Alaşımları Kimyasal Bileşimi

UNS NO/ ISO 683/5	TİCARİ	ESKİ SAF ADI	C	Mn	P (max)	S (max)	Si	Cr	Ni	N	Fe	Diğer
S63017	21-12N	EV 4	0.15/0.25	1.00/1.50	0.045	0.030	0.70/1.25	20.00/22.00	10.50/12.50	0.15/0.25	Temel	
S63038/ X 63 CrMnNiN 21 9	21-4N	EV 8	0.48/0.58	8.00/10.00	0.050	0.030	0.25 max	20.00/22.00	3.25/4.50	0.35/0.50	Temel	
S63012	21-2N	EV 12	0.50/0.60	7.00/10.00	0.050	0.030	0.25 max	19.25/21.50	1.50/2.75	0.20/0.40	Temel	
S63018	Garni H	EV 13	0.47/0.57	11.00/13.00	0.030	0.050	2.00/3.00	20.00/22.00	-	0.40/0.50	Temel	
S63018/ X 63 CrMnNiN 23 8	23-8N	EV 16	0.28/0.38	1.50/3.50	0.050	0.030	0.50/1.00	22.00/24.00	7.00/9.00	0.25/0.35	Temel	Mo 0.50 max W 0.50 max
S63030	302 HQ	EV 17	0.10 max	2.00 max	0.045	0.030	1.00 max	17.00/19.00	8.00/10.00	-	Temel	Cu 3.00/4.00
S63019/ X 60 CrMnNiNbN 21 9	21-4N+Nb+W	XEY-F	0.45/0.55	8.00/10.00	0.050	0.030	0.45 max	20.00/22.00	3.50/5.50	0.40/0.60	Temel	W 0.80/1.50 Nb+Ta 1.80/2.50

2.1.3.1 Supap alaşımlarının metalurjisi ve ısıt işlemleri

Supap imalatında kullanılacak olan alaşımın performans karakteri malzeme bileşimi ve ısıt işleme bağlıdır. Alaşım seçimi;

- Gerilim
- Korozyon etkileri
- Çalışma sıcaklığı
- Ekonomik etkenler
- Dayanıklılık

etkenlerine bağlıdır. Supabın mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılacak olan ısıt işlem ise aşağıda belirtilen etkenlere göre seçilir.

- Alaşım bileşimi
- Ekonomik etkenler
- Supabın sağlaması gereken özellikler

Supapların sağlaması gereken metalurjik özellikler aşağıda çeşitli alaşımlar için detaylı olarak verilmiştir.

Martenzitik alaşımlar; Emme supaplarının imalatında basit karbonlu, düşük ve yüksek alaşımlı martenzitik çelikler kullanılmaktadır. Martenzitik çelikler içermiş oldukları yüksek karbon miktarı ve alaşım elementi ile

- Aşınma direnci
- Oturma yüzeyinin korunması
- Artan dayanım

sağlamaktadırlar. Martenzitik çelik içine katılan alaşım elementleri ile yeni özellikler kazanması sağlanır. Söz konusu alaşım elementleri;

- Krom (Cr) ve Silikon (Si); oksidasyon veya korozyon direncinin artırır
- Mangan (Mn) ve Nikel (Ni), dayanımı artırır
- Molibden (Mo), Tungsten (W) ve Vanadyum (V) gibi elementler; yüksek sıcaklık özelliklerinin iyileştirilmesini sağlar

Martenzitik supaplar su verme ile sertleştirilmenin ardından temperlenerek 25–45 RC sertlik değerine sahip olurlar. Böylece uygun dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahip olurlar.

Ostenitik alaşımlar; ostenitik yapı içine bazı alaşım elementlerinin katılması ile özellikleri iyileştirilmektedir.

- C, Mn, Ni, Cu, N: Ostenitik yapıyı kararlı hale getirir
- Cr, Si, Al: Oksidasyon ve korozyon direnci sağlar
- Mo, Nb, Ta, W, V: Yüksek sıcaklık dayanımı sağlar

Eğer yukarıda sözü edilen alaşım elementleri demir içine katılırsa elde edilen ürün çelik olurken Co veya Ni elementleri içine katılırsa süperalaşım elde edilmiş olur.

Demir temelli ostenitik çelikler karbonitrürlerin çökeltilmesi ile sertleştirilmektedirler. Supap alaşımının seçimi, kullanılacak olan motorda istenen

- Ekonomik şartlar

- Mekanik özellikler
- Fiziksel özellikler
- Kimyasal özellikler

şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

Ostenitik supap alaşımlarına ait mekanik özelliklerin iyileştirilmesi çökelme ya da şekil değiştirme sertleştirilmesi ile yapılır. Genelde tercih edilen sertleştirme işlemleri;

- Yüksek sıcaklıkta dövmeyi takiben yapılan yaşlandırma işlemi
- Yüksek sıcaklıkta dövmenin ardından çökeltiliye alma ve ardından yaşlandırma işlemi
- Soğuk dövme

Yukarıda verilen sertleştirme işlemlerinin yapılması ile ostenitik supap alaşımlarının sertlik değerleri 20–40 RC'ye kadar ulaşır [6].

2.1.3.2 Supaplarda hasar oluşumu

İçten yanmalı motor içinde çalışma esnasında meydana gelen şartlar çok değişken olduğu için supaplardan olan beklentilerde kullanılacak olan motora göre farklılıklar göstermektedir.

Supaplarda genellikle aşağıdaki sebeplere bağlı olarak hasar meydana gelmektedir [6].

- a) Adhesif ya da abrasif aşınma
 - 1. Sap yüzeyinde meydana gelebilir
 - 2. Oturma yüzeyinde meydana gelebilir
 - 3. Supap ucunda meydana gelebilir
- b) Genel ya da yerel korozyon
 - 1. Yüksek sıcaklık etkisine bağlı olarak

2. Yorulma ile birlikte

c) Yorulma

1. Supap kafasında mekanik veya termal yorulma sebebi ile
2. Supap boynunda mekanik yorulma sebebi ile
3. Tırnak yivinde mekanik yorulma sebebi ile
4. Genelde korozyon etkisi ile birlikte

2.1.3.3 Supapların uygulamada kullanımları

Emme supapları, aşınma direnci ve yorulma dayanımına sahip olmalıdırlar. Emme supaplarının imalatında karbonlu, düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı (martenzitik veya ostenitik) çelikler kullanılmaktadır. Emme supaplarının genel kullanım sıcaklığı 500°C'nin altındadır.

Eksoz supaplarındaki temel gereksinimler, oturma yüzeyinin yanmasına karşı direnç, eğme yüklerine karşı yorulma dayanımı ve supap kafasının şişmesini önleyecek kadar sürünme direncine sahip olmasıdır. Eksoz supapları genelde ostenitik çeliklerden veya süperalaşımlardan imal edilmektedir. Eğer ağırlık çok önemli bir etki ise hafif Titanyum alaşımları kullanılabilir. Ostenitik eksoz supapları genelde 700°-760°C civarında çalışmasına rağmen çalışma sıcaklıkları 815–850°C'ye çıkılmaktadır.

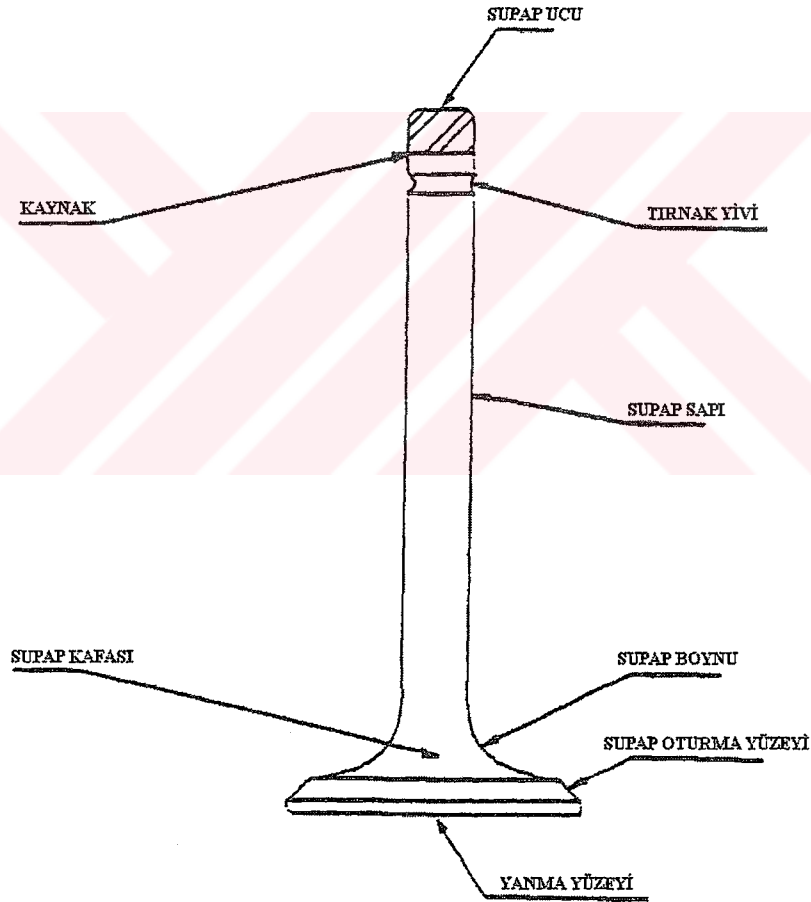
Çökme ile sertleştirilmiş olan ostenitik supap çelikleri hafif şartlardaki kıvılcım ateşlemeli motorlarda kullanılırlar ve söz konusu supaplarda uygun sıcak sertlik ve oksidasyon/korozyon direnci sağlanmış durumdadır.

2.1.3.4 Supap tasarımı-malzeme seçimi ilişkisi

Supap alaşımının seçilmesi kadar supap tasarımı ve motorda nasıl kullanılacağı da oldukça önemlidir. Supap ömrü, çalışma sıcaklığı ve çalışma anında maruz kaldığı gerilim şiddeti ile bağlantılıdır. Bu tip sorunları aşmak için daha dayanımlı ya da daha yüksek sıcaklıklara dirençli malzemeler seçilebilir.

Supabın karşılaşılabileceği zorluklar malzeme seçimi ile aşılamaz ise aşağıda belirtilen ek işlemlerin uygulanması ile supaba istenilen özellikler kazandırılır.

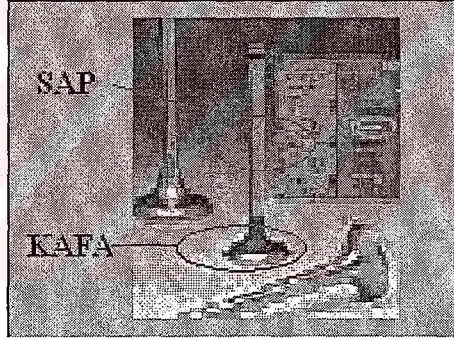
- Oturma yüzeyi kaynağı
- Oturma yüzeyine şekil değiştirme sertleştirilmesi uygulanması
- Supap sap yüzeyinin sertleştirilmesi (Krom kaplama veya Nitrürasyon ile)
- Yüzeyin Al kaplanması
- İç soğutma yönteminin uygulanması
- Sap ucuna daha dayanıklı malzeme kaynatılması



Şekil 2.12: Ostenitik Supap Ucuna Martenzitik Çelik Kaynatılmış Supap Modeli

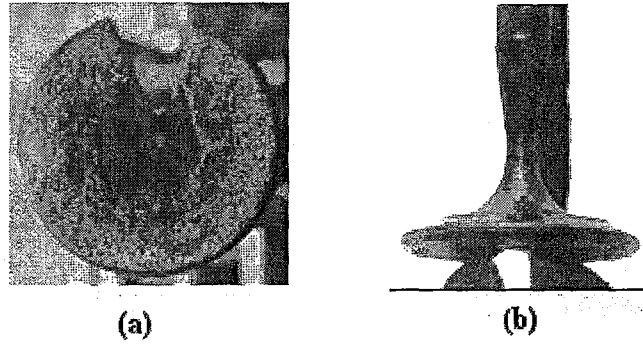
2.2 Ostenitik-Martenzitik Alaşımlardan Oluşan Supapların İmalatı

Çalışma konusu olan supaplar Şekil 2.2’de daha önce verilmiş olan iki parçalı konstrüksiyona sahiptir. Supabın silindir; yani yanma odası içinde bulunan kafası ostenitik supap çeliklerinden oluşurken gayd ile temas eden ve yanma odasının dışında bulunan supap sapı, martenzitik supap çeliklerinden imal edilmiştir. İki parçalı konstrüksiyonun sebebi motorun çalışma şartlarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Martenzitik supap çelikleri yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip olmalarına rağmen yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmektedirler. Fakat ostenitik supap çelikleri yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruyabilmektedirler. Bu özellikler göz önüne alındığında sıcaklığın yüksek olduğu yanma odası içinde kalacak olan supap kafası, ostenitik supap çeliklerinden imal edilir. Yanma odasının dışında olduğu için daha düşük sıcaklıklarda çalışacak olan ve supap gaydı ile temasından dolayı aşınma etkisine maruz kalacak olan supap sapı ise martenzitik supap çeliklerinden imal edilmektedir.



Şekil 2.13: İki Parçalı Supapta Sap ve Kafanın Gösterimi

Bu çalışmada kullanılan ostenitik supap alaşımı 21-4N ticari adına sahiptir ve kurşunlu benzinle çalışan motorların kullanılmaya başlanması ile keşfedilmiştir. Kurşunlu benzin ile çalışan otomobil motorlarında kurşunun yanması ile ortaya çıkan kurşun oksit maddesi temas ettiği motor elemanlarında özellikle eksoz supapları üzerinde kalıntı meydana getiriyordu. Yeşilimsi renkte olan bu kalıntı supap üzerinde korozyon etkisi gösteriyor ve hasara uğramasına yol açıyordu. Yine korozyon etkisi ile supap boynunda incelme meydana geliyordu. Bu iki durum Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Kurşun Oksitin Eksoz Supabı Üzerindeki Etkisi (a) Kurşun oksit'in supap kafası üzerindeki kalıntısı (b) Kurşun oksit'in korozyon etkisi ile supap boynunda meydana gelen incelme

Yapılan araştırmalar ile kurşun oksidin olumsuz etkisinin çelik içerisindeki silikon miktarının azaltılması ile önlenebileceği bulunmuştur; çünkü silikon oksijen kaynaklı korozyona karşı direnç sağlarken kurşun okside karşı etkisiz kalmaktaydı. Silikonu azaltılan çelikler, bu işlemi gerçekleştiren şirket tarafından 21-4N ticari adı ile patent altına alındılar.

Yapılan çalışmada kullanılan supap çeliklerinin kimyasal bileşimleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

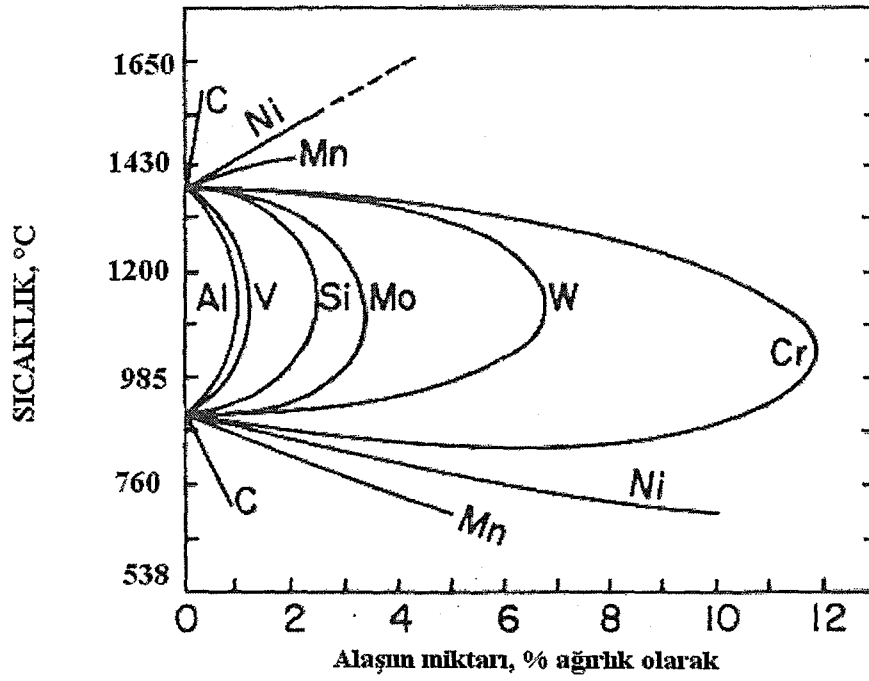
Tablo 2.3: Supap Sap ve Kafa İmalatında Kullanılan Malzemelerin Bileşimleri

Malzemenin Kodu			Kimyasal Bileşim (% ağırlık)					
EN 10090	DIN	SAE	C	Si	Mn	Cr	Ni	N
X53CrMnNiN21-9	1.4871	EV 8	0.48/0.58	0.25 max	8.00/10.00	20.00/22.00	3.25/4.50	3.25/4.50
X45CrSi9-3	1.4718	HNV 3	0.40/0.50	2.70/3.30	0.80 max	8.00/10.00	0.60 max	-

X53CrMnNiN21-9, supap kafası olarak kullanılmakta ve bu elementlerin dışında maksimum olarak %0.05 P ve %0.03 S içermektedir.

X45CrSi9-3, supap sapı olarak kullanılmakta ve bu elementlerin dışında maksimum olarak %0.04 P ve %0.03 S içermektedir.

Her iki malzemede de bulunan elementlerden C, Mn ve Ni ostenit oluşturu elementler iken Cr ve Si ferrit oluşturu elementlerdir. Ostenit oluşturu elementlerin ostenit bölgesine olan etkileri Şekil 2.15'de görülmektedir [7].



Şekil 2.15: Ostenitik Bölgeye Alaşım Elementlerinin Etkisi

Çok alaşımlı çeliklerde Ni ve Cr eşdeğerleri kullanılarak malzemenin yapısı ortaya çıkarılır. Çalışma konusu olan çeliklerin Ni ve Cr eşdeğerleri hesaplamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

a) X53CrMnNiN21-9;

$$\text{Cr eşdeğeri} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5 \times \% \text{Si} + 0.5 \times \% \text{Nb} = 21 + 0 + 1.5 \times 0.20 + 0$$

$$\text{Cr eşdeğeri} = 21.3$$

$$\text{Ni eşdeğeri} = \% \text{Ni} + 30 \times \% \text{C} + 0.5 \times \% \text{Mn} = 4 + 30 \times 0.53 + 0.5 \times 9$$

$$\text{Ni eşdeğeri} = 24.4$$

b) X45CrSi9-3;

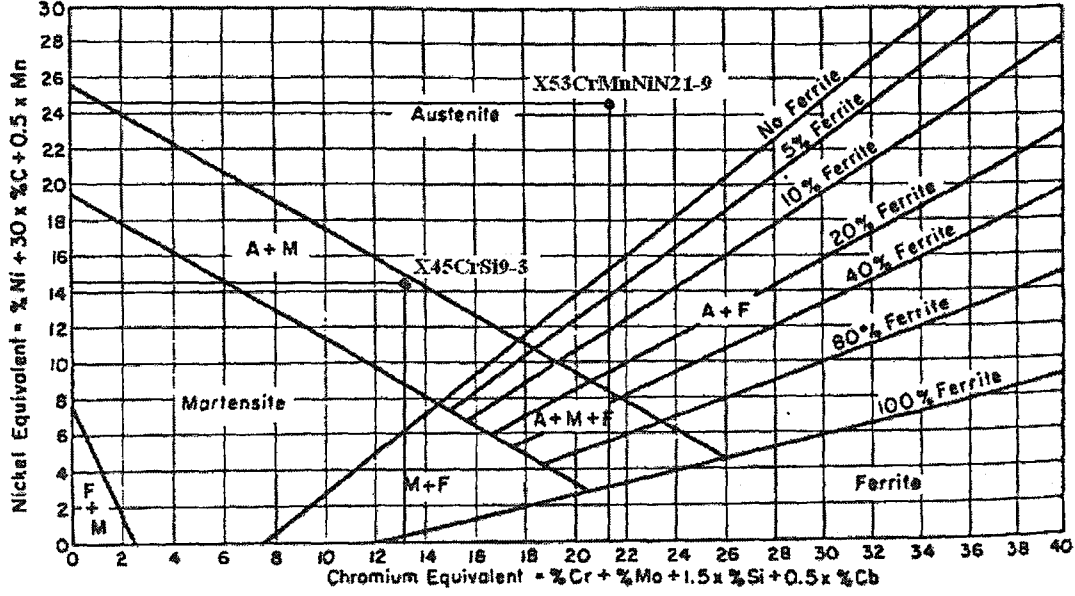
$$\text{Cr eşdeğeri} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5 \times \% \text{Si} + 0.5 \times \% \text{Nb} = 9 + 0 + 1.5 \times 3 + 0$$

$$\text{Cr eşdeğeri} = 13.5$$

$$\text{Ni eşdeğeri} = \% \text{Ni} + 30 \times \% \text{C} + 0.5 \times \% \text{Mn} = 0.6 + 30 \times 0.45 + 0.5 \times 0.8$$

$$\text{Ni eşdeğeri} = 14.5$$

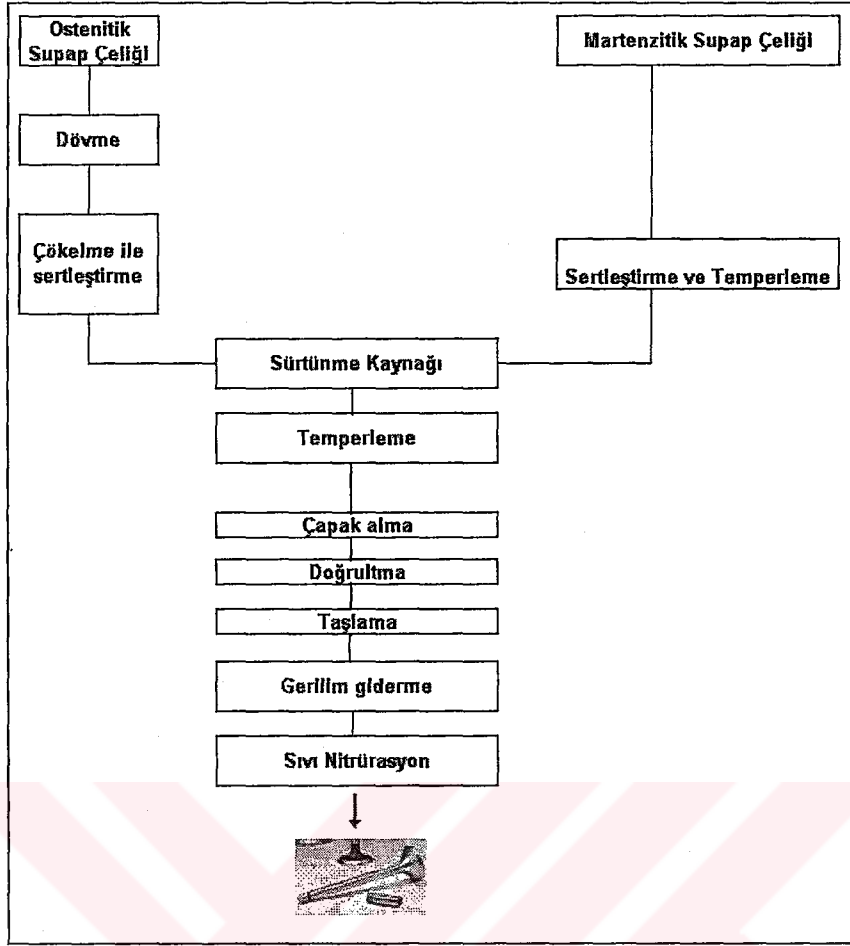
Elde edilen Ni ve Cr eşdeğerlerini Şekil 2.16'da yer alan Schaeffler Diyagramı'na koyduğumuzda malzemelerin yapıları bulunacaktır.



Şekil 2.16: Paslanmaz Çelikler İçin Schaeffler Diyagramı

Çalışma konusu olan iki parçalı supapların imalat aşamaları aşağıda kısaca anlatılmış ve grafik olarak Şekil 2.17'de gösterilmiştir.

1. Ostenitik supap çeliğinin dövülerek supap kafasının elde edilmesi
2. Ostenitik supap çeliğinin 1165°-1185°C'de çözeltiye alınmasının ardından 760°C'de 6 saat yaşlandırılarak sertleştirilmesi
3. Martenzitik supap çeliğinin 1010°C'de 30 dakika tutulmasının ardından yağda soğutma ile sertleştirilmesi ardından 700°C'de 2 saat temperlenmesi
4. Her iki malzemenin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi
5. Kaynak işleminin ardından 660°C'de 2 saat süre ile temperlenmesi ve havada soğutulması
6. Çapak alma, taşlama ve doğrultma işlemlerinin yapılması
7. 660°C'de 2 saat süre ve havada soğutma ile gerilim giderme uygulanması
8. Sıvı Nitrürasyon işlemi



Şekil 2.17: İki Parçalı Ostenitik-Martenzitik Supabın İmalatı

2.2.1 Ostenitik ve martenzitik supap çeliklerinin imalata hazırlanmaları

Ostenitik ve martenzitik supap çeliklerinin gerekli dayanımı kazanmaları için imalat işlemlerine başlamadan önce sertliklerini arttırmak için her ikisine de farklı ısı işlemleri uygulanır. Ostenitik supap çeliği dövme işleminin ardından çökelme ile sertleştirme yöntemi ile sertleştirilirken martenzitik supap çeliği su verme ile sertleştirilir ve temperleme ile gevrekliği giderilir.

2.2.1.1 Ostenitik supap çeliğinin hazırlanması

Ostenitik supap çeliği çubuk halinde imalat yerine gelir. Boy kesiminin yapılmasının ardından indüksiyon ile ısıtılan ostenitik paslanmaz çelik çubuğun kafası soğan başı şeklinde şişirilir. Daha sonra yapılan dövme işlemi ile supap kafası elde edilir. Şişirme ve dövme işlemleri sırası ile Şekil 2.18 ve 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.18: Ostenitik Paslanmaz Çubuğun Şişirilmesi



Şekil 2.19: Soğan Başı Şeklini Almış Çubuğun Dövülerek Supap Kafasının Elde Edilmesi

Dövölerek elde edilen supap kafası, yeterli sertliği kazanması için 1165°C-1185°C’de çözeltiye alınır ve bunun ardından 760°C’de 6 saat süre ile yaşlandırma işlemine tabi tutulur.

Çökelme sertleştirme;

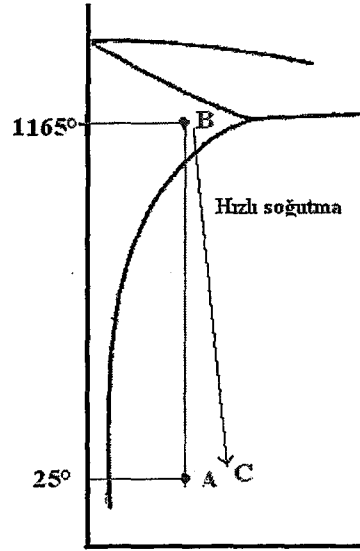
Metalin sertleşmesi, bir çizgisel kusur olan dislokasyonlar önünde engeller oluşması ile meydana gelmektedir. Kayarak metalin şekil değiştirmesini sağlayan dislokasyonların hareketi engellendiğinde kayma için daha fazla kuvvet uygulanması gerekeceği için metallerin dayanımı artış gösterir. Dislokasyon önünde engel oluşturmanın bir yolu da çökelme sertleştirme yapmaktır [8].

Sıcaklık yardımıyla aşırı doymuş katı çözelti oluşturabilen alaşımlar, çökelme sertleştirme yöntemi ile sertleştirilebilirler. Oda sıcaklığında bulunan aşırı doymuş fazdan, zaman ve sıcaklığın ortak etkisi ile yeni bir fazın çökeltilmesi sağlanır. Çökelme sertleşme işleminde çökeltelerin boyutu, aralarındaki mesafe ve kafes ile olan bağdaşıklığı kontrol edilerek alaşımın sertlik seviyesi belirlenir [9].

Çökelme sertleştirme üç aşamada gerçekleşmektedir:

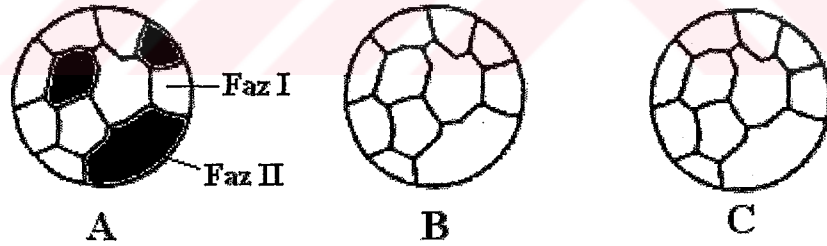
1. Katı çözeltiye alma
2. Hızlı soğutma ile aşırı doymuş katı çözelti elde etme
3. Yaşlandırma ile istenen özelliklerde ikincil faz parçacıklarının elde edilmesi

Oda sıcaklığında aşırı doymuş halde olan alaşım bir X sıcaklığına çıkarılarak belirli sürede bu sıcaklıkta tutulur. Sıcaklık etkisi ile ikincil faz tamamen birincil faz yapısı içerisinde çözünmektedir. Bu işlem “katı çözeltiye alma” olarak adlandırılır ve çalışmada kullanılan ostenitik supap çeliklerinde çözeltiye alma sıcaklığı 1165°-1185°C civarındadır. Katı çözeltiye alma işlemi şematik olarak Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Katı Çözeltiye Alma

Oda sıcaklığında bulunan ve iki faz içeren alaşım Şekil 2.21’de A olarak görülmektedir. A halindeki alaşım 1165°C’ye çıkarılıp yeterli süre tutulduğunda ikincil faz, birincil faz içinde çözünür ve bu durum Şekil 2.21’de B olarak görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta bulunan alaşım, oda sıcaklığına hızla soğutulur Şekil 2.21’de görülen C mikroyapısına sahip aşırı doymuş çözelti elde edilir. Hızlı soğutma ile ikincil faz parçacıklarının yeniden oluşması engellenmiş olur.

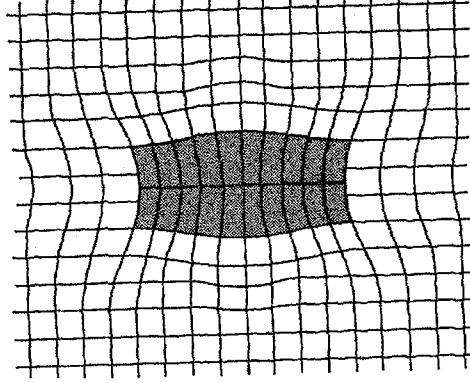


Şekil 2.21: Katı Çözeltiye Alma Anında Oluşan Mikroyapıların Şematik Gösterimi

Katı çözeltiye alma ile elde edilen aşırı doymuş olan çözelti, *yaşlandırma* adı verilen işleme tabi tutularak ikincil faz kontrollü olarak tekrar oluşturulur. İkincil fazın küçük parçacıklar halinde ana faz içinde dağılması ile dislokasyonların daha çok engel ile karşılaşması sağlanacak ve ostenitik supap çeliğinin sertliği arttırılacaktır.

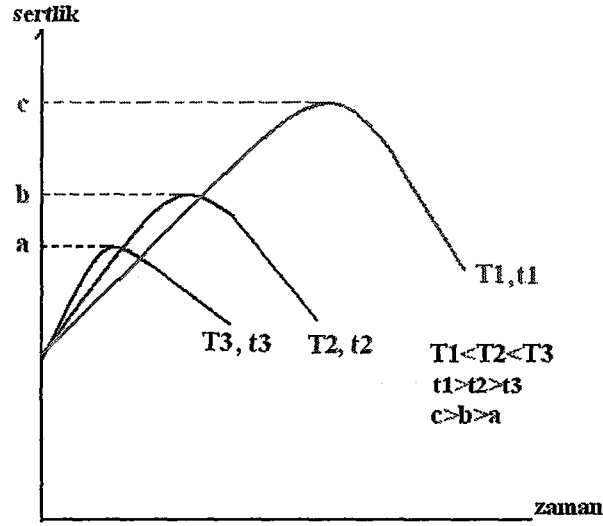
Yaşlandırma işlemi sıcaklık ve zaman ile gerçekleşen bir işlemdir. Çalışma konusu olan ostenitik supap çeliklerinde, supabın 760°C’de 6 saat süresince tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Uygulanan ısı ile aktive olan ve tekrar birleşmeye başlayan

ikincil faz parçacıkları öncelikli olarak kenar dislokasyonlar altında bulunan boşluklarda toplanırlar. Bu boşluklarda toplanan atom kümelerine Guinter-Preston (GP) Bölgeleri adı verilir. Bu bölgeler kafeste bölgesel iç gerilmeler oluşturduğundan sertlik de kısmen de olsa artış meydana getirirler.



Şekil 2.22: Guinter-Preston Bölgeleri'nin Şematik Olarak Gösterimi

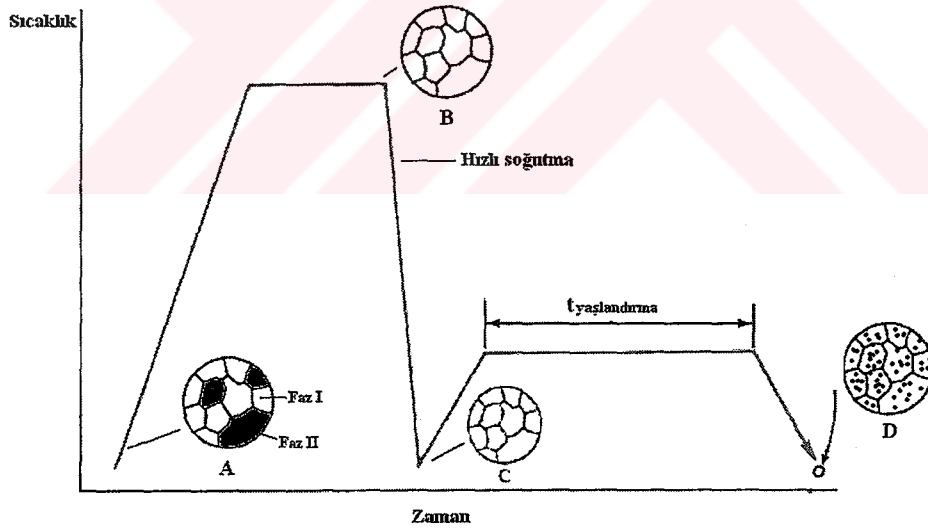
Yaşlandırma işlemine devam edilmesi ile ikincil faz parçacıkları birleşmeye devam ederek birincil faz ile bağdaşık çökelti oluştururlar. Şekil 2.24'de şematik mikroyapısı D olarak görülebilen bu bağdaşık çökelti sertliğin artmasında önemli rol oynarlar. Yaşlandırma devam ettikçe bağdaşık çökelti büyümeye devam eder ve kritik bir boyutta en büyük sertlik değerine ulaşılır. Bu noktadan sonra da yaşlandırmaya devam edilmesi halinde çökelti daha da büyüyecek ve ikincil fazın kafes ile olan bağdaşıklığı sona ermeye başlayacaktır. Bunun yanında çökelti birbirleri ile birleştiği için dislokasyon hareketini güçleştirerek sertliği arttıracak olan engel sayısında da azalma olur. Sonuç olarak sertlik değeri düşecek ve yapı yumuşayacaktır. Bu olaya "Aşırı Yaşlanma" adı verilir. Ayrıca doğal ve yapay olmak üzere iki çeşit daha yaşlandırma işlemi vardır. Doğal yaşlandırma işlemi daha düşük sıcaklıklarda; ancak daha uzun süre ile devam eder. Doğal yaşlandırma ile elde edilen en büyük sertlik, yaşlandırma işlemi ile elde edilebilecek en büyük sertlik değeridir. Yapay yaşlandırma işleminde ise daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa süreli işlemler yapılır. Ulaşılan en büyük sertlik, doğal yaşlandırma ile elde edilebilen en büyük sertlikten daha küçüktür. Sonuç olarak yaşlandırma sıcaklığının arttırılması en büyük sertlik değerine daha kısa sürede ulaşılmasını sağlayacak; ancak ulaşılan sertlik değeri elde edilebilecek en büyük sertlik değeri olmayacaktır [8, 9,13].



Şekil 2.23: Yaşlandırma ile Elde Edilen Sertliğe Sıcaklık ve Zamanın Etkisi

Çökelme ile sertleştirme işleminin tüm aşamaları şematik olarak Şekil 2.24’de verilmiştir.

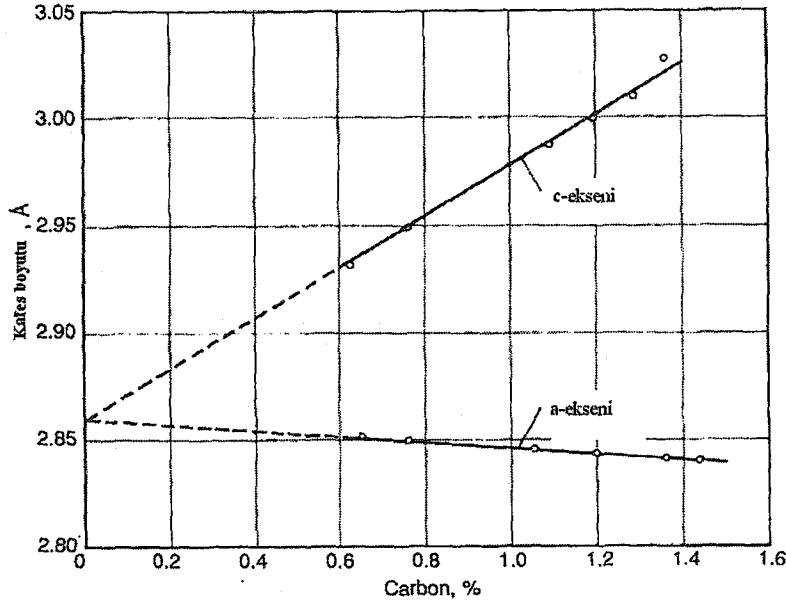
Çökelme sertleşmesi öncesinde ostenitik supap çeliğinin 29 HRC olan sertliği, yaşlandırma işleminin ardından 30–40 HRC’ye çıkmaktadır.



Şekil 2.24: Çökelme Sertleştirmesinin Tüm Aşamalarının Şematik Gösterimi

2.2.1.2 Martenzitik supap çeliğinin hazırlanması

Martenzitik supap çeliği, 1010°C’de 30 dakika tutulup ardından hızla soğutularak martenzitik yapısı elde edilir. Daha sonra 700°C’de 2 saat süre ile tutulması ile yapılan temperleme işleminin ardından sert ve tok bir yapıya sahip olması sağlanır.



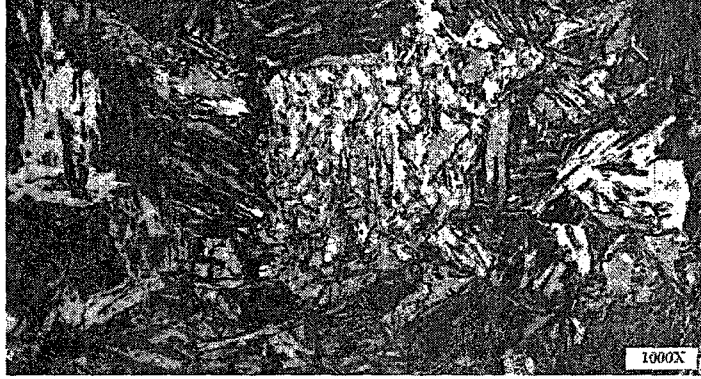
Şekil 2.26: Karbon İçeriğine Bağlı Olarak Tetragonallığın Değişimi

Martenzit oluşumunun başladığı sıcaklığa “Martenzit Başlangıç Sıcaklığı” adı verilir ve literatürde “ M_s ” olarak gösterilir. M_s , ostenit-martenzit dönüşümünün başlaması için gerekli olan termodinamik kuvveti ifade etmektedir. Artan C miktarı ile M_s azalır.

Martenzit oluşumunun tamamlandığı sıcaklığa “Martenzit Bitiş Sıcaklığı” adı verilir ve “ M_F ” ile gösterilir. M_F de M_s gibi C içeriğine bağlıdır. Karbon içeriği %0.3’ten fazla olan çeliklerde M_F değeri oda sıcaklığının altında olur. Bu da yüksek karbonlu çeliklerde oda sıcaklığında önemli miktarda dönüşmemiş ostenit ya da bir başka deyişle *kalıntı ostenit* olmasına neden olur. %1.2-4.0 C içeren çeliklerde %30-40 civarında kalıntı ostenit olabildiği görülmüştür. Ostenit oluşturuucu, elementler kalıntı ostenit miktarının artmasına neden olurlar. Martenzitik yapıda kalıntı ostenit olması durumunda martenzitik yapının gevrekliğini gidermek için yapılan temperleme işleminin ardından yapılan soğutma işlemi kalıntı ostenitin bir kısmının martenzite dönüşmesine neden olacaktır. Ve sonuç olarak yapı içinde temperlenmemiş, gevrek martenzitik bir kısım kalacaktır.

Martenzitik yapının oluşumu şu şekilde gerçekleşmektedir: γ fazından yapılan hızlı

soğutma sonucunda M_s 'e ulaşır ulaşmaz martenzitik yapı oluşmaya başlar. Hızlı soğutma olduğu için yayınmanın bir şartı olan zaman çok kısadır; buna bağlı olarak C atomları ferrit ve sementit oluşumuna katılamadan oktahedral boşluklarda tutsak kalırlar ve martenzitik yapı oluşmuş olur. Martenzitik yapı görüntü olarak iğne şeklindedir.



Şekil 2.27: Martenzitik Yapının Mikroyapı Görüntüsü

Tüm bunların yanında martenzit fazı, metastabil bir fazdır. Yani zamana bağlı olarak kararlı olmasına rağmen ısıtılması durumunda daha kararlı fazlar olan α ve Fe_3C 'e (sementit) ayrılmaktadır. Martenzitik yapı, karışık kristal yapısı ve doymuş karbon oranı nedeni ile karakteristik olarak gevrektiler.

Martenzit fazı ısıtıldığı zaman boşluklarda tutsak kalmış olan C atomları yapıyı terk edip karbürler oluştururlar. Bu durumda tetragonallik sona erer ve martenzitik yapı ferrit- Fe_3C karışımı haline gelir. Martenzitin diğer yapılara ayrıştırılarak sertliğinin azaltılması ve tokluğunun artırılmasına temperleme adı verilir.

Aslında temperleme işlemi yeniden ısıtma yaparak α ve Fe_3C fazlarına dönüşümün sağlanmasıdır. Aynı sıcaklık değerine çıkılarak yapılan kısa süreli temperleme işlemi sonucunda yüksek dayanımlı-düşük tokluklu malzeme elde edilirken uzun süreli temperleme işlemi sonucunda düşük sertlik-yüksek tokluk özelliklerine sahip malzeme elde edilir.

Temperleme işleminde martenzitik yapı belirli bir sıcaklığa ısıtıldığında martenzit içinde yer alan C atomları, ısı aktivasyon neticesinde HMT kafes içindeki yerlerinden ayrılırlar. Daha sonra, yavaş soğutma yapıldığı için C atomları α ve Fe_3C oluşumuna katılırlar. Temperleme işlemi ile sert ve tok malzeme elde edilmiş olur.

Su verme ile sertleştirilen martenzitik çeliğin gevrekliğini azaltmak için yapılan temperleme işleminin sıcaklığı 3 gruba ayrılabilir [7, 8].

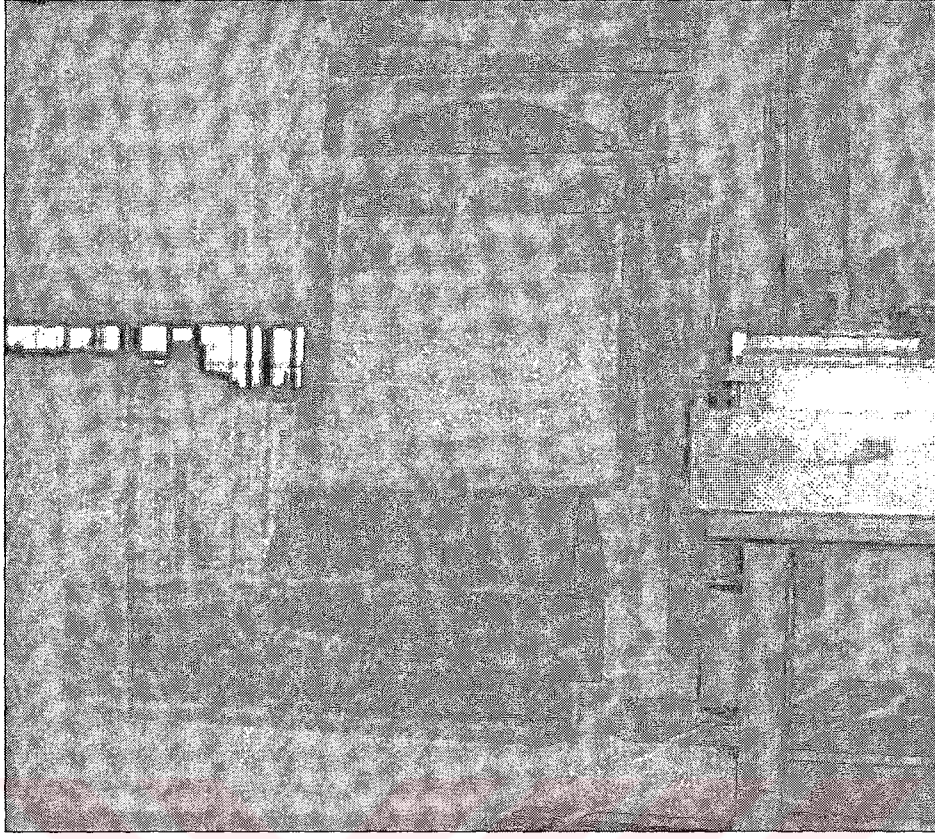
- a) 150°-200°C: Yüksek dayanım ve yorulma direnci sağlar. Tokluk değeri de oldukça uygundur.
- b) 425°C ve üzeri: Düşen dayanım ve sertliğe rağmen tokluk oldukça yüksektir.
- c) 260°-370°C: Tokluk azalmaktadır. Bunun sebebi temperlenmiş martenzit gevrekliği ya da 350° gevrekliği olarak bilinmektedir.

Çalışma konusu olan martenzitik supap çeliklerine, 1010°C'de 30 dakika tutmanın ardından yağda yapılan su verme ve 700°C'de 2 saat süre ile yapılan temperleme işlemleri ile su verme öncesi 30-32 HRC, su verme sonrası 64 HRC olan sertlik değeri işlem sonunda 32-34 HRC olmaktadır.

Ostenitik ve martenzitik supap çeliklerinin ısıtma işlemlerinin yapıldığı fırınlar, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da görülmektedir. Bu fırınlar diğer imalat safhalarında da kullanılmaktadır.



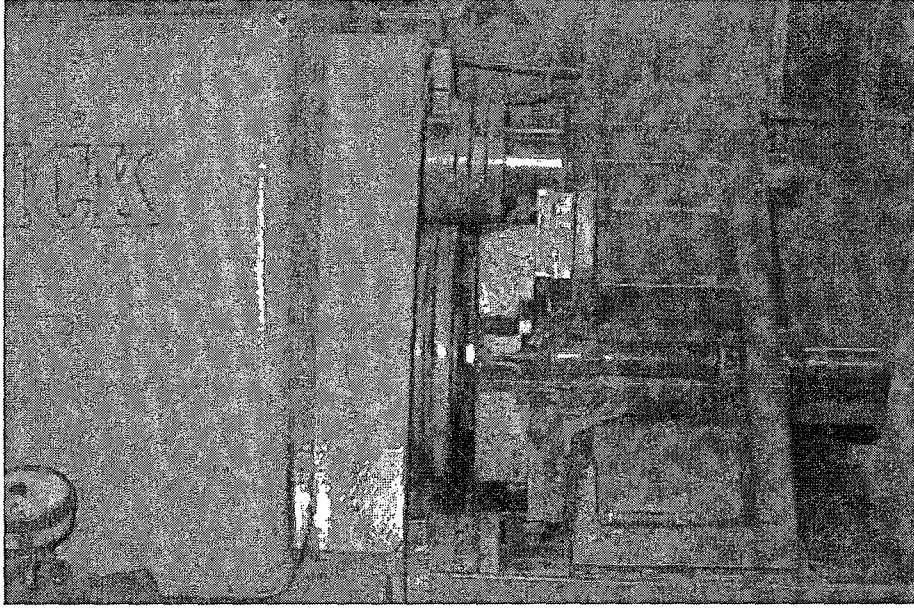
Şekil 2.28: Çözeltiye Alma ve Yaşlandırma İşlemlerinin Yapıldığı Fırın



Şekil 2.29: Temperleme İşleminin Yapıldığı Fırın

2.2.2 Sürtünme kaynağı

Sürtünme kaynağı işlemi, birbiri ile eksenel olarak hizalanmış iki iş parçasından biri dönerken diğerinin dönme hareketi yapmadan dönen iş parçasına doğru ilerlemesi ve temas etmesi ile gerçekleşir. Uygulanan temas basıncı ve dönme hareketinden ortaya çıkan sürtünme ısısı, temas halinde bulunan iki iş parçasının katı-hal kaynağı olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.30: Sürtünme Kaynağı

İki tür sürtünme kaynağı yöntemi vardır.

1. Doğrudan sürüş ile sürtünme kaynağı
2. Ataletli sürüş ile sürtünme kaynağı

Doğrudan sürüş ile sürtünme kaynağında parçayı döndürecek olan mil öncelikle istenilen hıza çıkarılır. Daha sonra iki iş parçası birbirlerine eksenel kuvvet ile temas ettirilir. Döndürme ve eksenel kuvvet uygulaması yeterli ısı sağlanana kadar devam ettirilir. Ardından mil, sürücü üniteden ayrılır ve frenlenir. Son olarak eksenel kuvvet sabit tutularak veya artırılarak kaynak tamamlanır.

Ataletli sürüş ile sürtünme kaynağında öncelikle bir mil dönerek volana gerekli kinetik enerjiyi kazandırır. Daha sonra mil, sürücü üniteden ayrılır. İki iş parçası eksenel kuvvet altında birbirleri ile temas ederler. Kaynak işlemi, volan durana kadar devam eder. Volanın durmasının ardından kaynağı tamamlamak için daha yüksek bir eksenel kuvvet uygulanabilir.

Her iki tür sürtünme kaynağında da kaynağın kalitesini etkileyen bazı parametreler bulunmaktadır. Doğrudan sürüş ile sürtünme kaynağında;

- Dönme hızı
- Dönme süresi
- Eksenel kuvvet

kaynak karakteristiğini belirleyici etkilendir. Ataletli sürüş ile sürtünme kaynağında ise;

- Volan kütlesi
- Dönme hızı
- Eksenel kuvvet

kaynak karakteristiğini belirler.

Doğrudan sürüş ile sürtünme kaynağı, daha düşük dönme hızı ve eksenel kuvvet gerektirmektedir. Ayrıca işlem değişkenlerinde daha fazla esneklik sağlamaktadır. Ancak kaynak parametreleri doğru olarak belirlendiğinde her iki yöntemde de aynı kalitede ürün elde edilecektir [10].

2.2.2.1 Sürtünme kaynağının avantajları, sınırlamaları ve uygulamaları

Sürtünme kaynağının sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

1. İş parçalarının yüzey temizliğine özen gösterilmesine gerek yoktur. Çünkü kaynak esnasında yüzeydeki filmler tamamen kaldırılır.
2. Dolgu metali, akı, koruyucu gaz gibi şeylere gerek yoktur. Ayrıca radyasyon, duman ve kıvılcım gibi etkileri olmadığı için işçi sağlığına olumsuz etkisi de yoktur.
3. Katı-hal kaynağı olduğu için erimiş metalin katılaşması esnasında ortaya çıkan problemlere rastlanmaz.
4. Benzer olmayan metallerin birleştirilmesi yapılabilir.

5. Düşük işçilik maliyetleri, basit parça tasarımı, basit tutucular, düşük enerji gereksinimi ve kısa işlem süresi sürtünme kaynağını diğer işlemlere göre maliyet açısından daha avantajlı hale getirir.

Sürtünme kaynağının sınırlamaları ise şu şekildedir:

1. En azından iş parçalarından birisinin kaynak alanı dönel olarak simetrik olmalıdır.
2. Açılı ve düz işlemlerin yapılmasında sınırlı kalmaktadır.
3. En azından iş parçalarının biri kaynak işlemi şartları altında plastik deformasyona uğramalıdır.

Sürtünme kaynağı endüstride iki genel amaç altında uygulanmaktadır:

1. Parti ve götürü işlerde: Pahalı kalıpların kullanılması gereken küçük hacimli işlerde kullanılabilir
2. Seri üretim: Yüksek miktarda parça üretimi gerektiren sektörlerde (tarım, uçak motoru, otomobil...) millerin alın kaynağında kritik uçak motoru parçalarına kadar geniş bir yelpazede yer alan parçaların üretilmesinde kullanılabilir [10].

2.2.3 Fırın veya indüksiyon ile temperleme

Sürtünme kaynağı işleminin ardından kaynak bölgesinde ostenitik yapının martenzite dönüşmesinden kaynaklanan aşırı sertleşmeyi gidermek için 660°C’de 2 saat süre ile temperleme işlemi yapılmaktadır. İşlemin ardından supaplar, havada soğutulmaktadır. Çalışma konusu olan supaplara iki tür temperleme işlemi uygulanmaktadır.

- Fırında temperleme
- İndüksiyon ile temperleme

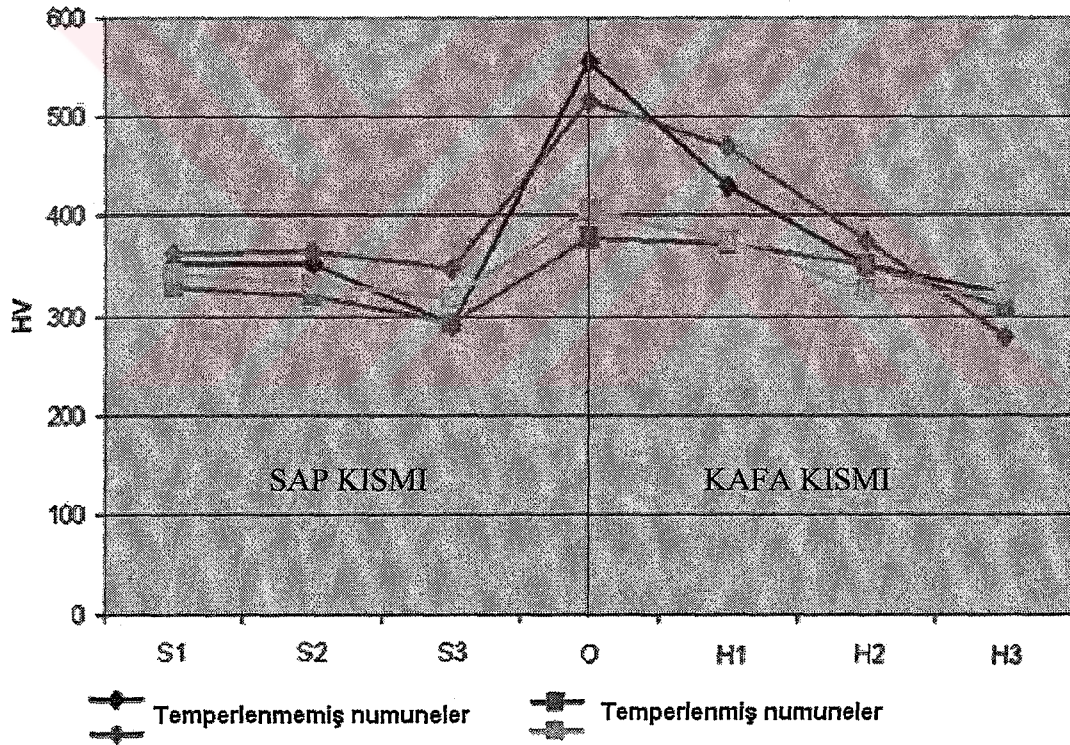
Daha yeni ve nispeten karmaşık olduğu için burada indüksiyon ile temperleme hakkında bilgi verilecektir.

2.2.3.1 İndüksiyon ile temperleme

İndüksiyon yöntemi kullanılarak çeliğin ısıtılması ile

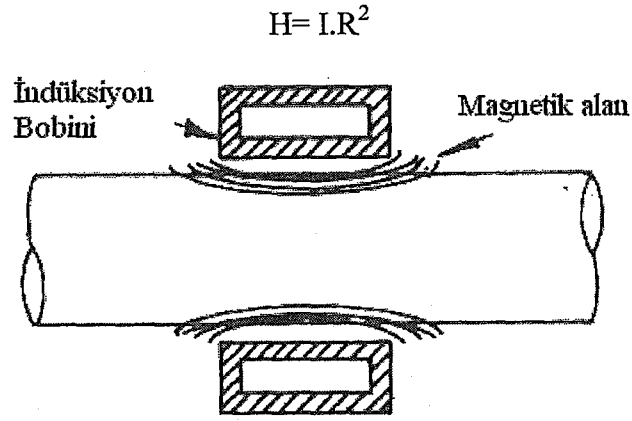
- Tüm yüzeyin sertleştirilmesi ya da temperlenmesi
- Lokal yüzey sertleştirilmesi ya da temperlenmesi

uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Tüm bu işlemler aynı çalışma prensibi ile yapılmaktadır. Konumuz olan temperlemede, indüksiyon ile ısıtmanın sağladığı en büyük avantaj yerel, olarak uygulanabilmesidir. Böylece tüm supap yerine sadece kaynak bölgesi temperlenir. Ayrıca indüksiyon ile temperleme işlemi, sürtünme kaynağı işleminin hemen ardından yapıldığı için Şekil 2.31’de gösterilen kaynak sonrası yüksek sertliğe bağlı olarak temperleme yapmadan beklemenin yol açacağı su verme çatlaklarını önler.



Şekil 2.31: Temperleme İşleminin Kaynak Bölgesi Sertliği Üzerine Etkisi S: Sap, H: Kafa, O: Kaynak Merkezi

İndüksiyon ile ısıtma, içinden yüksek frekansta akım geçen indüktörün oluşturduğu magnetik alana çelik iş parçasının yerleştirilmesi ile sağlanır. İndüktör içinden geçen akım (I), indüktörün direnci (R) nedeni ile ısı (H) açığa çıkmasını sağlar.



Şekil 2.32: İndüksiyon ile Temperlemenin Şematik Gösterimi

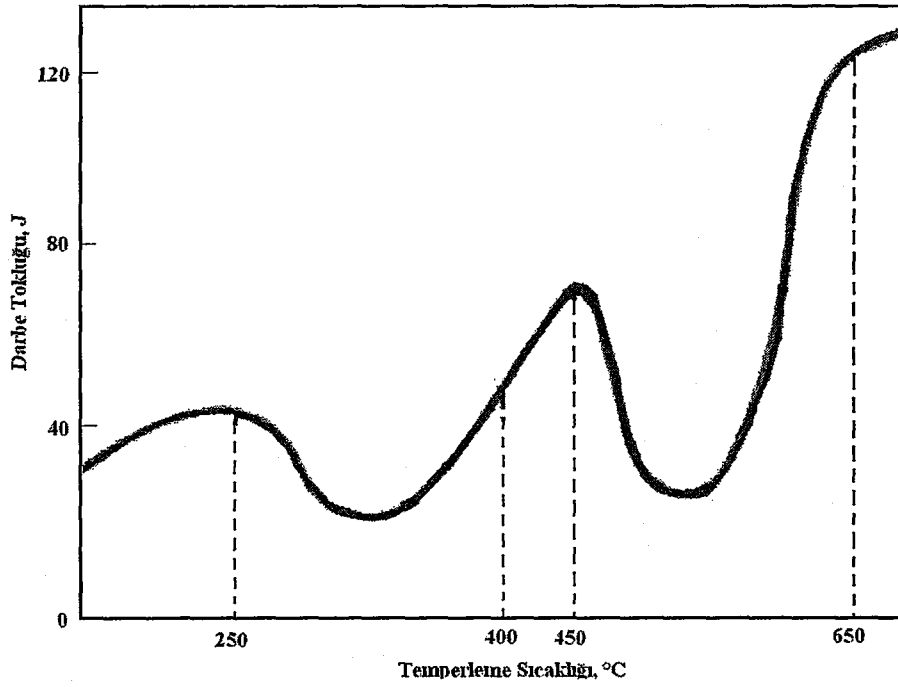
Magnetik alanın oluşması için iş parçasının; yani çeliğin de magnetik olması gerekmektedir. Ferrit ve HMK yapıdaki çelikler, 768°C'ye kadar magnetik özellikler gösterirken ostenitik çelikler magnetik değildir. Bu yüzden ostenitik çeliklere indüksiyon ile temperleme yapılamaz. Ancak çalışma konusu olan supaplarda kaynak bölgesi ostenitik-martenzitik çelik karışımı olduğu için bu bölgeye indüksiyon ile ısıtma sağlanabilmektedir.

Yapılan ısıtmanın derinliği indüktörden geçen alternatif akımın frekansı ile bağlantılıdır. Akım frekansı arttıkça ısıtma derinliği azalmaktadır; yani akım frekansı ve ısıtma derinliği ters orantılıdır. Ayrıca indüksiyon ile temperlemenin en önemli özelliklerinden biri de iş parçasının içyapısını değiştirmemesidir.

Kaynak sonrası temperleme işleminde ortaya çıkması muhtemel sorunlardan biri de Temper Gevrekliği problemi.

Temper gevrekliği, "Darbe Tokluğu"nın azalması ile kendini göstermektedir. Temper gevrekliğinin varlığı oda sıcaklığında malzemenin diğer mekanik özelliklerinin değişmesine yol açmaz. Sadece darbe tokluğunu azalttığı için temper gevrekliği darbe testleri yapılarak bulunabilir. Temper gevrekliği, iki sıcaklık aralığında temperleme işlemi yapılması durumunda görülmektedir. Bunlar;

- 250°-400°C: Dönüşümsüz Temper gevrekliği
- 450°-650°C: Dönüşümlü Temper gevrekliği



Şekil 2.33: Temper Gevrekliğinin Gerçekleştiği Sıcaklık Aralıkları

250°-400°C aralığında temperleme işlemi yapıldığında gevrek hale gelen çeliği, bu işlemin ardından 400°C üzerine çıkarılıp bir müddet tutulması ile gevreklik problemi ortadan kalkacaktır. Ayrıca gevrekliği gidermek için gerçekleştirilen işlemin ardından yapılan soğutma esnasında 250°-400°C sıcaklık aralığından yavaşça geçilse dahi tekrar temper gevrekliği ortaya çıkmayacaktır. Bu yüzden 250°-400°C sıcaklık aralığında gerçekleşen temper gevrekliği **Dönüşümsüz Temper Gevrekliği** olarak adlandırılmaktadır. Dönüşümsüz Temper gevrekliğine martenzitin ayrışması sonucunda ortaya çıkan karbürlerin tane sınırlarına çökelmesinin neden olduğu düşünülmektedir. Çökelmenin sebep olduğu gevreklik daha yüksek sıcaklıklarda temperleme ile yok edilir.

450°-650°C sıcaklıkları arasında yapılan temperleme işlemi sonucu ortaya çıkan temper gevrekliği kendini iki şekilde gösterir:

- 450°-650°C arasında temperlemeye bağlı olarak
- 650°C'nin üzerinde yapılan temperleme işleminin ardından 450°-650°C sıcaklık aralığından yavaş soğutma yapılmasına bağlı olarak

450°-650° sıcaklık aralığında meydana gelen temper gevrekliğini yok etmek için 650°C üzerine çıkılarak ikinci bir temperleme yapılmalı ve ardından hızlı soğutma ile parça oda sıcaklığına soğutulmalıdır. Hızlı soğutma yapılmasının sebebi, 450°-650° sıcaklık aralığında meydana gelen temper gevrekliğinin dönüştürülebilir olmasıdır. Parçanın gevrekliği giderilse bile 450°-650° aralığına her girişinde ve orada yeterli süre kalışında temper gevrekliği tekrar ortaya çıkacaktır.

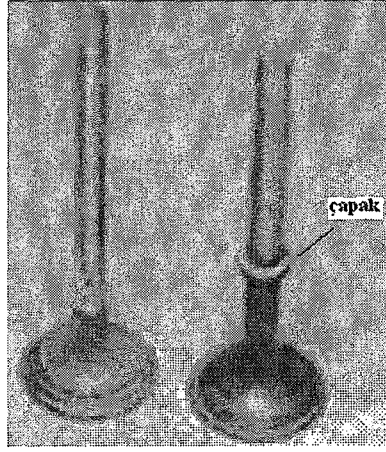
Temper gevrekliği %0,5 oranından daha az Mn içeren çeliklerde görülmezken alaşım çeliklerinde sıklıkla görülür. Alaşım çeliklerinde yer alan Cr, Ni ve Mn gibi elementler temper gevrekliğine yol açmaktadırlar. Ayrıca yapılan araştırmalar ile ostenit tane sınırlarında oluşan empürite yoğunluğunun da temper gevrekliğine yol açtığı görülmüştür. Alaşım elementleri de empürite oluşumunu teşvik ettikleri için temper gevrekliğine yol açarlar [7, 11].

Temper gevrekliğini engellemek için;

1. Zararlı empüritelerin atılması
2. 450°C-650° sıcaklık aralığında kalmamak için 650°C üzerine çıkılarak temperleme yapılması ve ardından hızlı soğutma gerçekleştirilmesi
3. Çeliğin %0,2-0,3 Mo ile alaşımlandırılması

2.2.4 Mekanik işlemler

Sürtünme kaynağı ile birleştirmenin ardından kaynak bölgesinin temperlenmesi ile oluşan supap, çeşitli mekanik işlemlere tabi tutulur. Bu işlemlerden ilki temperleme ile sertliği azaltılmış olan ve Şekil 2.34’de de görülen çapakların alınmasıdır. Daha sonra işlemlerin yol açtığı kaçıklıklar doğrultma işlemi ile düzeltilir. En son olarak supap ölçülerinin tutturulabilmesi için taşlama yapılır.



Şekil 2.34: Sürtünme Kaynağı Sonrası Oluşan Kaynak Çapağı

2.2.5 Gerilim giderme işlemi

Supaba uygulanan ısı ve mekanik işlemler, çalışma performansına zarar verecek iç gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Oluşan muhtemel iç gerilmeleri gidererek çalışma anında hasar oluşumunu engellemek için 660°C sıcaklıkta 2 saat süre ile tutulan supaplara gerilim giderme işlemi uygulanmış olur.

Uygulanan imalat işlemleri nedeni ile meydana gelmiş olan iç gerilmeler supabın çarpılmasına, başka mekanik veya ısı işleme tabi tutulurken çatlamasına ya da en önemlisi çalışma anında hasara uğramasına neden olabilirler.

İç gerilmelerin belirli ortaya çıkış nedenleri vardır. Makine ile işleme sırasında parça yüzeyinde ve içerisindeki şekil değişim miktarlarının farklı olması iç gerilmelere yol açar. Ya da kaynak işlemi sırasında kaynak bölgesi aldığı ısı enerjisi nedeni ile genişlemek isterken kaynak bölgesinin çevresi genişlemeye izin vermez ve sonuçta iç gerilmeler oluşur.

Gerilim giderme sıcaklığına çıkılırken ve işlemin tamamlanmasının ardından soğutma yapılırken ısıtma ve soğutma hızları düşük olmalıdır. Aksi takdirde iç gerilmeleri yok etmek için yapılan gerilim giderme işlemi, yeni iç gerilmeler meydana getirecektir [7].

2.2.6 Tuz banyosu nitrürasyonu

Nitrürasyon işlemi ilk olarak 1900'lü yılların başında kullanılmaya başlanmış ve

- Uçak sanayi
- Yataklar
- Otomotiv elemanları
- Tekstil makineleri
- Jeneratör türbin sistemleri

alanlarında uygulanmıştır.

Nitrürasyon işlemi esnasında moleküler boyut değişimi ve boyutsal değişim meydana gelmezken yüzeyde oluşan azot yayınması nedeni ile oluşan hacimsel değişime bağlı olarak yüzeySEL büyüme meydana gelmektedir.

Tanım olarak nitrürasyon, serbest azot atomunun çelik veya dökme demir yüzeyine termokimyasal yöntemler ile yayınmasıdır. Demir içine yayınan azot atomu, nitrür yapıcı diğer elementler ile birleşerek sert nitrürler meydana getirir. Böylece iş parçasının yüzey sertliği artırılır. Günümüzde kullanılan üç tür nitrürasyon işlemi vardır ve keşfedilme sırası ile

- Gaz nitrürasyonu
- Sıvı (Tuz Banyosu) nitrürasyonu
- İyon nitrürasyonu

şeklindedir.

Nitrürasyon işlemi esnasında azotun, demir içindeki çözünürlüğü tamamen sıcaklığa bağlıdır. Örneğin 450°C'de demir temelli alaşım içinde %5,70–6,10 oranında azot çözünebilecektir ve bu kısım γ' fazıdır. Bunun ötesinde ise ϵ fazı oluşmaya başlayacaktır. ϵ fazı artan karbon miktarı ile artmaktadır.

Nitrürasyon işlemi aşağıda belirtilen özelliklere ihtiyaç duyulduğundan başvurulmuş bir yöntemdir. Bunlar;

- Yüksek tork
- Abrasif aşınma direnci
- Korozyon direnci
- Yüksek yüzey bası dayanımı

dır. Sağladığı bu özellikler için tercih edilen nitrürasyon işlemi ilk kullanılmaya başlandığı yıllarda rağbet görmüyordu; ancak sağladığı avantajların zaman içinde görülmesi ile birlikte tercih edilen bir sertleştirme işlemi haline aldı. Nitrürasyonun talep edilmesini sağlayan özellikler şu şekilde sıralanabilir:

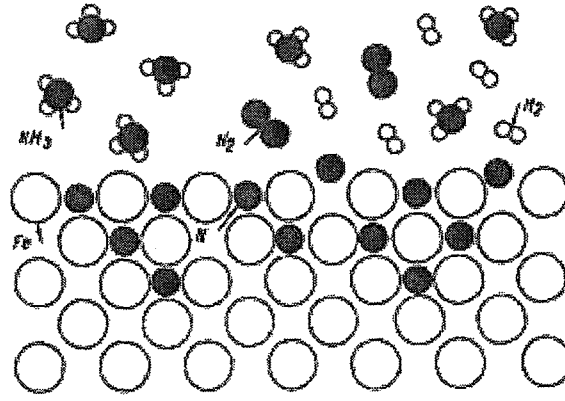
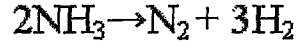
1. Diğer sertleştirme işlemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir.
2. İşlem parametrelerinin kontrol edilmesi nispeten daha kolaydır.
3. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerde korozyon direnci sağlamaktadır.
4. İşlem esnasında su verme yapılmadığı için çarpılma riski azalır.

2.2.6.1 Nitrürasyon işlemi nasıl gerçekleşir?

Nitrürasyon işleminin çarpılma ve metalurji açısından başarısını belirleyen dört temel unsur vardır. Bunlar;

- Azot kaynağı
- Isı
- Zaman
- Çelik bileşimi

dir. Gaz nitrürasyonunda meydana gelen azot yayılımı şematik olarak Şekil 2.35’de görülmektedir.

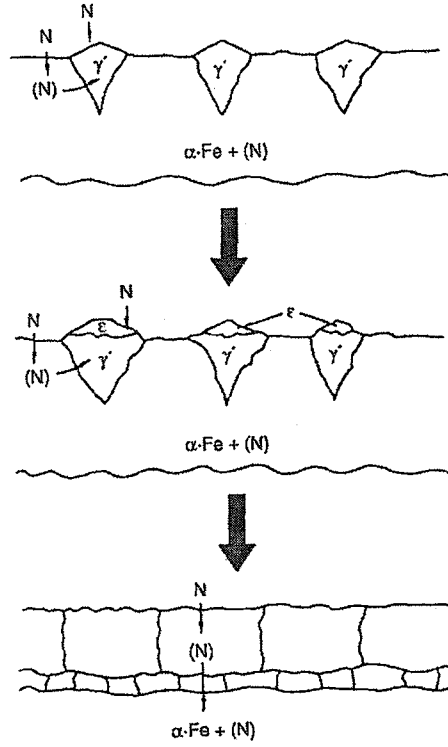


Şekil 2.35: Gaz Nitürasyonu İşlemi Esnasında Azot Yayınımı

Çalışma konusu olan supaplara sıvı nitürasyon da denilen Tuz Banyosu Nitürasyonu uygulanmaktadır. Tuz banyosu nitürasyonu 1930'lu yıllarda bulunmuştur. Ortaya çıkış sebebi daha homojen ve iyi metalurjik özelliklere sahip yüzeyler elde edebilme arayışıdır. Bu isteğin gerçekleştirilebilmesi için sıvı ortamın gerekli olduğu görülmüştür. Sıvı ortamın tercih edilmesinin sebebi sıvı içerisine konulan iş parçasının sıvı ortam ile %100 temas edeceği ve bu şekilde homojenliğin sağlanacağı gerçeğidir. Ayrıca yüzey kalitesi ve sertlik derinliği sıvının kimyasal bileşimine bağlı olacaktır. Bunların yanında azotun çelik içerisine yayınabilmesi için ısı kaynağı da gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda uygun sıvı ortamın eritilmiş siyanür tuzları ile elde edileceği görülmüştür. Siyanür tuzunun erimesi ile ortaya çıkan serbest azot atomları ortamda bulunan ısıнын etkisi ile çelik içerisine yayınır [12].

Nitürasyon işleminin başlangıcında γ' fazı çelik yüzeyinde çekirdeklenmeye başlar ve nitürler oluşur. İlerleyen zaman ile ϵ fazı da oluşmaya başlar. Çeliğin içerdiği karbon miktarı beyaz tabakanın faz oranını belirler. Artan karbon oranı ile birlikte ϵ faz oranı da artış gösterir. Fakat artan karbon miktarı ile beyaz tabakanın kalınlığında herhangi bir artış meydana gelmez. Beyaz tabaka kalınlığı zaman, sıcaklık ve atmosferik basınç şartlarına bağlıdır.



Şekil 2.36: γ' ve ϵ Nitrürlerinin Demir İçinde Çekirdeklenmesi

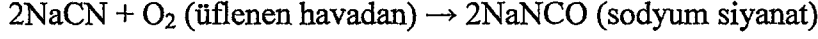
Tuz banyosu nitrürasyonu aşağıdaki işlem sırası ile gerçekleştirilmektedir.

1. Ön ısıtma
2. Erimiş tuz banyosu içine daldırma
3. Havada soğutma (ya da uygun su verme ortamında)
4. Yıkama
5. Opsiyonel olarak parlatma ya da yağlama

Çalışma konusu olan supaplara uygulanan tuz banyosu nitrürasyonuna ait detaylar şu şekildedir:

İşleme başlamadan önce trikloretilen veya alkali kullanılarak yapılan 20 dakikalık yıkamanın ardından 350°C / 30 dakikalık ön ısıtma ve yapılır. Daha sonra 570°C 'de 30–60 dakika süresince tuz banyosunda nitrürasyon işlemi gerçekleştirilir. Kullanılan tuz banyosu esas itibarı ile siyanür banyoları'dır. Banyo içerisinde sodyum siyanür

(NaCN), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve sodyum klorür (NaCl) bulunmaktadır. Banyo içerisinde hava üflenmesi ile aşağıdaki reaksiyon oluşmaktadır:



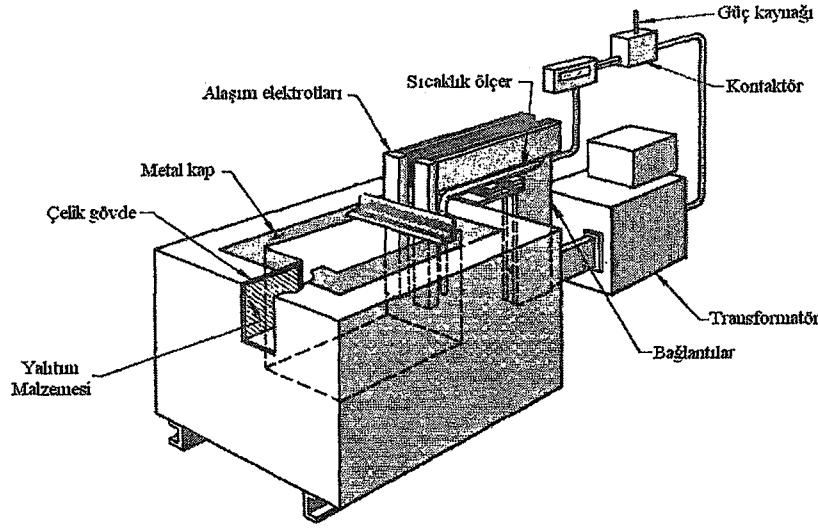
Yukarıda belirtilen reaksiyon esnasında azot ile birlikte siyanürün bileşimi içerisinde bulunan karbon elementi az da olsa çelik içerisinde yayılır. Banyo saat başı gümüş nitrat ile analiz edilerek sodyum siyanür ve sodyum siyanat oranları tespit edilmektedir.

Tuz banyosunun ardından supaplar ABI Banyosu adı verilen ve 20 dakika süren oksitleme banyosuna tabi tutulurlar. Alkali hidroksit ve alkali nitrat içeren bu banyo yavaş soğumayı sağlamanın yanı sıra yüzeyde siyah bir oksit tabakası oluşturarak parçanın korozyona karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca işlem sonrası yüzeyde ortaya çıkan kalıntı siyanürü etkisizleştirerek çevre temizliğine katkıda bulunmaktadır. Son olarak 60°C sıcaklığındaki su ile yıkama yapılır ve nitrürasyon işlemi tamamlanır.

İşlem sonucunda $10\text{--}20 \mu$ derinliğinde ve $\text{HV}_{100\text{gr}} = 600$ sertliğinde bir tabaka elde edilir.

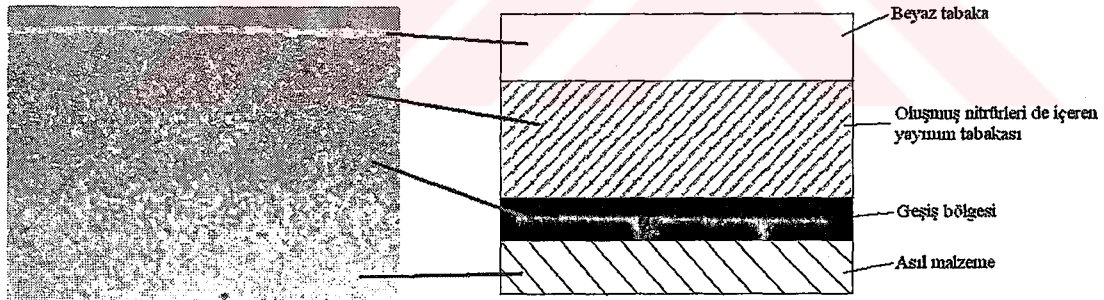
Tuz Banyosu Nitrürasyonunun başlıca avantajları şunlardır:

- Nispeten düşük işletme maliyetleri
- Daha az bakım ihtiyacı
- Kolay işletme
- Küçük fırınlar ve daha az yer işgali
- Kolay başlatma ve bitirme
- Daha hızlı yayınma çevrimleri



Şekil 2.37: İçten Isıtmalı Sıvı Nitrürasyon Fırını

Nitrürasyon işleminin önemli konularından biri de beyaz tabaka'dır. İşlem esnasında çelik yüzeyinde çekirdeklenecek büyüyen alanlar beyaz tabakayı oluşturur. Beyaz tabaka çok sert ve gevrek olup iki ara fazdan meydana gelmektedir. Söz konusu tabaka çelik içerisine yayılmaz; ancak artan zaman ve sıcaklık ile kalınlığını artırır.



Şekil 2.38: Nitrürasyon İşleminde Oluşan Beyaz Tabaka

Beyaz tabakanın altında bulunan yayınım tabakası azot ve nitrür yapıcı elementlerin birleşmesi ile meydana gelmiş olan kararlı nitrürlerden meydana gelmektedir.

Nitrürasyon işleminin uygulanacağı iş parçasının yüzeyi oldukça temiz olmalıdır. Eğer iş parçası yüzeyinde

- Kesme suları

- Yüzey koruma yağları
- Parmak izleri
- Boya artıkları
- Dekarbürizasyon

olması durumunda nitrürasyonu engelleyici etkide bulunurlar. Bunun sonucunda yüzey kalitesi düşük olacaktır. Yukarıda sayılan etkenleri kısaca açıklarsak;

Kesme suları; içerdikleri klorür ve sülfürlerin nitrürasyon sıcaklığı altında ayrışması ile azot yayılımını engelleyici bariyerler oluştururlar.

Yağlar; bıraktıkları artık C, azot yayılımını engeller ve yüzey homojenliğini bozar.

Parmak izleri; Vücut yağlarının içerdği hidrokarbonun nitrürasyon sıcaklığı altında ayrışması ile ortaya çıkan C, azot yayılımını engelleyici etki yapar.

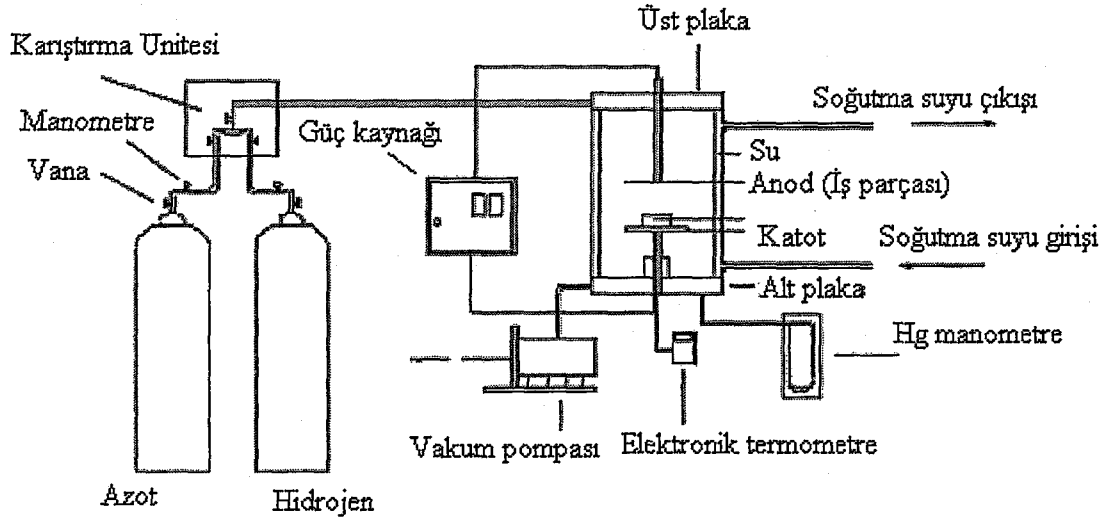
Boya artıkları; azot yayılımını engelleyici etki yaparlar.

Dekarbürizasyon; çelik yüzeyinde karbon kaybetmiş bir kısmın olması durumunda yüzey homojen olarak sertleştirilemeyecektir. Sonuç olarak portakal kabuğu görünümlü düşük kalitede yüzey elde edilecektir.

İyon Nitrürasyonu;

Yapılan deneyler sırasında normal imalat sürecinin dışına çıkılarak tuz banyosu nitrürasyonu yerine iyon nitrürasyonu kullanılmıştır.

İyon nitrürasyonu, temel olarak sızdırmaz gaz ortamda bulunan iki elektrot arasından akım geçmesi ile ortamda bulunan gazların iyonize olması olgusuna dayanmaktadır. İyon nitrürasyonunda kullanılan düzenek Şekil 2.39'da gösterilmiştir.



Şekil 2.39: İyon Nitrürasyonu Deney Düzenegi

İyon nitrürasyonu işleminin gerçekleştiği tüp vakum halindedir. Tüp içerisine verilen gaz iki elektrot arasında iletken görevini üstlenir. Tüp içinde bulunan gaz molekülleri akım etkisi ile birbirlerine çarparak parlak ışık (glow) çıkartırlar. Ortaya çıkan ışığın rengi kullanılan gaz türüne bağlı olarak değişmektedir.

İyon nitrürasyonunda kontrol parametreleri şu şekildedir:

- Akım yoğunluğu
- Güç
- Tüp basıncı
- Zaman
- Sıcaklık
- Akım şiddeti
- Voltaj
- Gaz Debisi
- Gaz oranı

İyon nitrürasyonunda gaz nitrürasyonundan farklı olarak azot ve hidrojen gazları ayrı olarak kullanılır. Oysa gaz nitrürasyonunda ortama verilen NH_3 'ün sıcaklık etkisi ile ayrışması sonucu azot ve hidrojen elde edilmektedir. Azot ve hidrojenin ayrı olarak kullanılması ile azot/hidrojen oranı sabit olmaktan çıkar ve değişken bir hale geçer. Azot/hidrojen oranının istenildiği gibi belirlenebilmesi yüzey özelliklerinin de istenildiği gibi belirlenebilmesini sağlar. Böylece birçok malzeme kolaylıkla nitrürasyon işlemine tabi tutulabilir [12].

İyon nitrürasyonu esnasında meydana gelen olaylar

Vakumlu tüpe öncelikle sadece H_2 verilir. Bir diğer yandan da ortam sıcaklığı artırılır. Ortama verilen H_2 , iş parçası yüzeyinin temizlenmesini sağlar ve bu işleme sputtering adı verilir. Yüzeyin temizlenmesi esnasında ortaya çıkan artıklar vakum pompası ile dışarıya atılır. Yüzeyin temizlenmesi azotun daha kolay yayınmasını sağlayacaktır. Temizleme işlemi bittiğinde ve yeterli sıcaklığa çıkıldığında ortama N_2 verilmeye başlanır. Akım etkisi ile iyonize olan N_2 molekülü serbest N atomlarına ayrışır. Serbest olan N atomları parça yüzeyinde kopan demir parçacıkları ile birleşerek nitrürleri oluşturur ve iş parçası yüzeyine çökerek içeriye doğru yayınırlar. Devam eden N bombardımanı ile nitrürasyon tabakası oluşmaya başlar [12].

Çalışma konusu olan supaplara uygulanan iyon nitrürasyonu işleminin detayları aşağıda verilmiştir:

Başlangıçta numuneler trikloretilen kullanılarak temizlenmiştir. İyon nitrürasyonuna başlamadan önce vakumlu ortama sadece H_2 vererek hem yüzeyler temizlenmiş hem de 450°C sıcaklığına çıkılmıştır. 450°C 'ye ulaşıldığında vakumlu ortama N_2 gazı verilmeye başlanmıştır. İyon nitrürasyonu, %80 H_2 ve %20 N_2 oranına sahip gaz karışımının vakumlu ortamda bulunan numunelere 450°C 'de 2 saat süre ile verilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Nitrürasyon işleminin tamamlanmasının ardından supaplar havada soğumaya bırakılmıştır.

En son keşfedilen ve plazma nitrürasyonu olarak da adlandırılan iyon nitrürasyonun avantajları şu şekildedir:

- Bilinen bir teknolojiye dayanması

- Çevreye dost gazlar kullanılması
- Yangın riskinin bulunmaması
- Düşük işletme maliyetleri
- Düşük gaz harcaması
- Tekrarlanabilir işlem koşulları
- Tekrarlanabilir metalurji
- Neredeyse her çeliğe uygulanabilir olması
- Düşük bakım ihtiyacı



3. YAPILAN DENEYLER ve SONUÇLARI

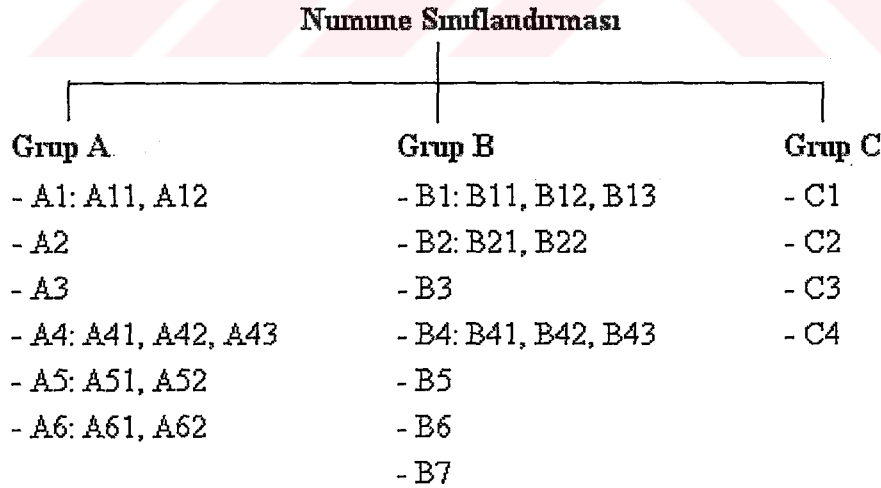
Ostenitik-martenzitik supap çeliklerinden imal edilen çalışma konusu supaplarda sıvı nitrürasyon işleminin ardından ortaya çıkan gevrekliğin nedenini bulmak için normal imalat sürecinin çeşitli aşamalarından alınan numunelerin yanı sıra bazı imalat işlemlerinin değiştirilmesi ile yeni numuneler elde edilmiştir. Bu numunelere ağırlıklı olarak darbe testleri uygulanmış; ayrıca bazı numunelere mikroyapı incelemesi ve sertlik taraması da yapılmıştır.

Deney numuneleri 3 grupta toplanmıştır ve bu gruplar A, B ve C olarak ayrılmışlardır. Grupların tanımlamaları aşağıda verilmiştir.

Grup A: Fabrika İmalat Sürecinden alınan numuneler

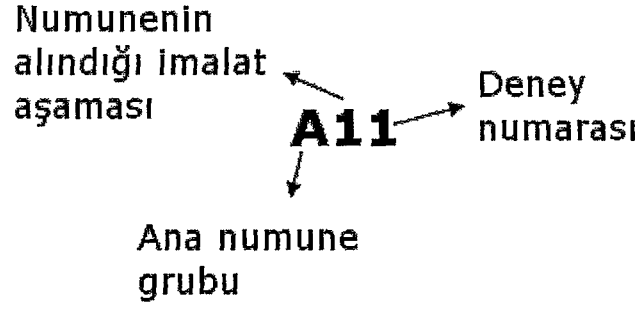
Grup B: Fabrika İmalat Sürecinde değişiklik yapılarak elde edilen numuneler

Grup C: Isıl işlemlerinin bir kısmı İTÜ laboratuvarlarında yapılmış numuneler



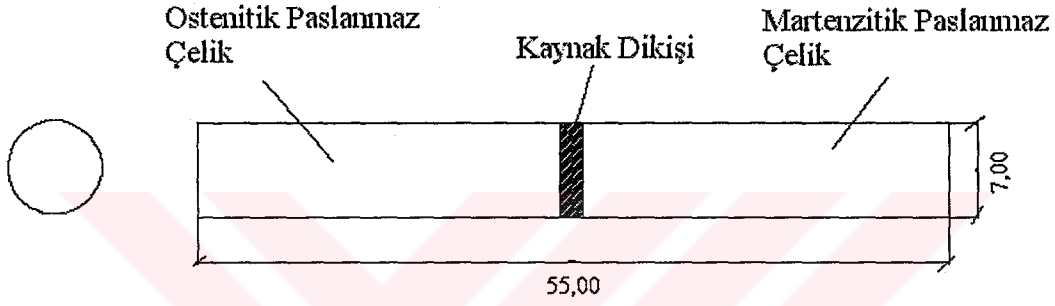
Şekil 3.1: Deney Numunelerinin Sınıflandırması

Numunelerin adlandırılmasında Şekil 3.2’de verilen sistem kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Numunelerin Adlandırılması

Yapılan deneylerde 7,00 mm çapında ve 55 mm uzunluğunda çentiksiz supap numuneleri kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Numune Boyutlarının Şematik Gösterimi

3.1 Fabrika İmalat Sürecinden Alınan Numuneler (Grup A)

Deneylerde kullanılan tüm Grup A numunelerinin geçmiş olduğu imalat aşamaları; yani ne şekilde elde edildiği Şekil 3.4'de verilmiştir. Deney sonuçları bu kısmın ardından verilecek ve her deney sonucunun yanında deney yapılan numunelerin imalat geçmişi tekrar verilecektir.

Numune İmalat İşlemi	Sürtünme Kaynağı	Fırında Temperleme 660°- 2 saat-AC	Mekanik İşlemler			Gerilim Giderme 660°-2 saat-AC	Tuz Banyosu Nitrasyonu
			Çapak alma	Doğrultma	Taşlama		
A1							
A2							
A3							
A4							
A5							
A6							

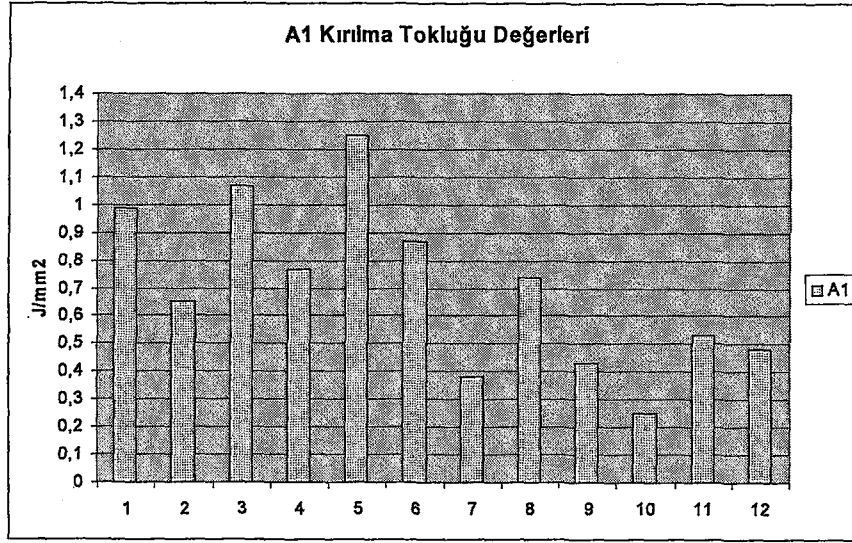
Şekil 3.4: Grup A Numunelerine Uygulanan İmalat İşlemleri

3.1.1 A1 numuneleri

A1 türü numuneler, gerekli işlemlerden geçmiş olan ostenitik ve martenzitik supap çeliklerinin sadece sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi ile elde edilmiş numunelerdir. A1 türü numune grubunda 2 parti deney yapılmıştır ve bu deneylerde kullanılan numuneler A11 ve A12 olarak adlandırılmıştır. Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.1’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.5’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1: A1 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,99
2	0,65
3	1,07
4	0,77
5	1,25
6	0,87
7	0,38
8	0,74
9	0,43
10	0,25
11	0,53
12	0,48
Ort	0,70



Şekil 3.5: A1 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.1.2 A2 numuneleri

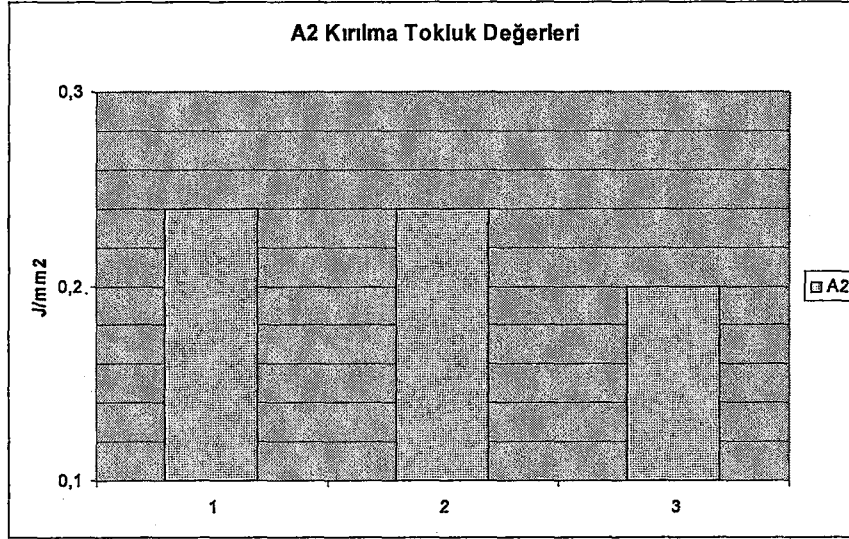
A2 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.2’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.6’da grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.2: A2 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm2]
1	0,24
2	0,24
3	0,20
Ort	0,23



Şekil 3.6: A2 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.1.3 A3 numuneleri

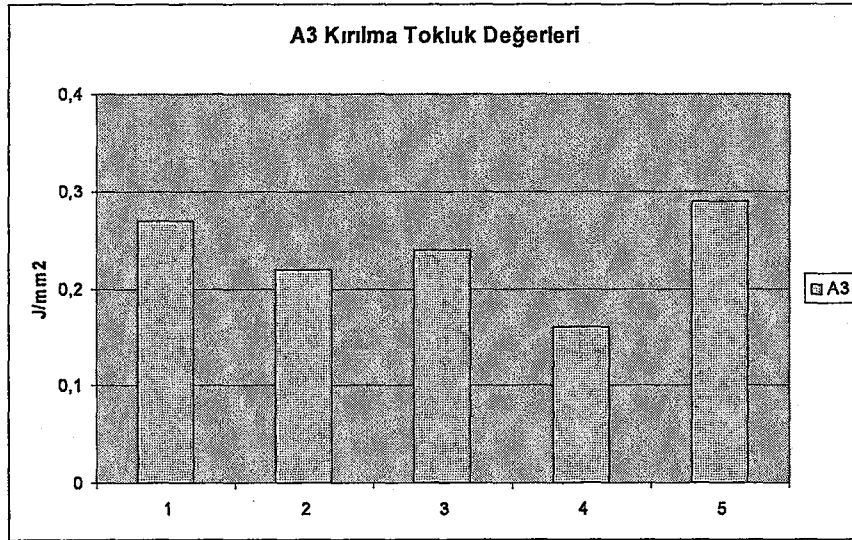
A3 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.3’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.7’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.3: A3 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm2]
1	0,27
2	0,22
3	0,24
4	0,16
5	0,29
Ort	0,24



Şekil 3.7: A3 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.1.4 A4 numuneleri

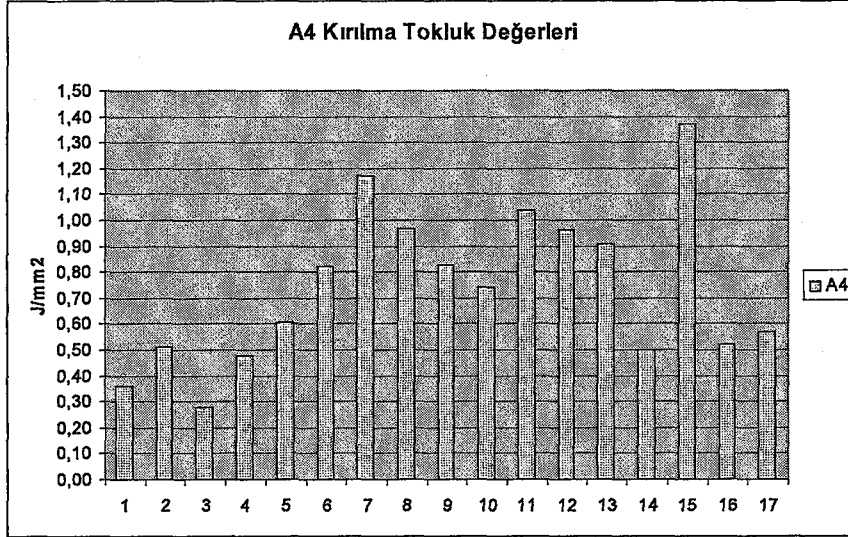
A4 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama

A4 numune grubunda A41, A42 ve A43'ün yer aldığı 3 parti deney yapılmıştır. Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.4'de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.8'de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.4: A4 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm2]
1	0,36
2	0,51
3	0,28
4	0,48
5	0,61
6	0,82
7	1,17
8	0,97
9	0,83
10	0,74
11	1,04
12	0,96
13	0,91
14	0,50
15	1,37
16	0,52
17	0,57
Ort	0,74



Şekil 3.8: A4 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.1.5 A5 numuneleri

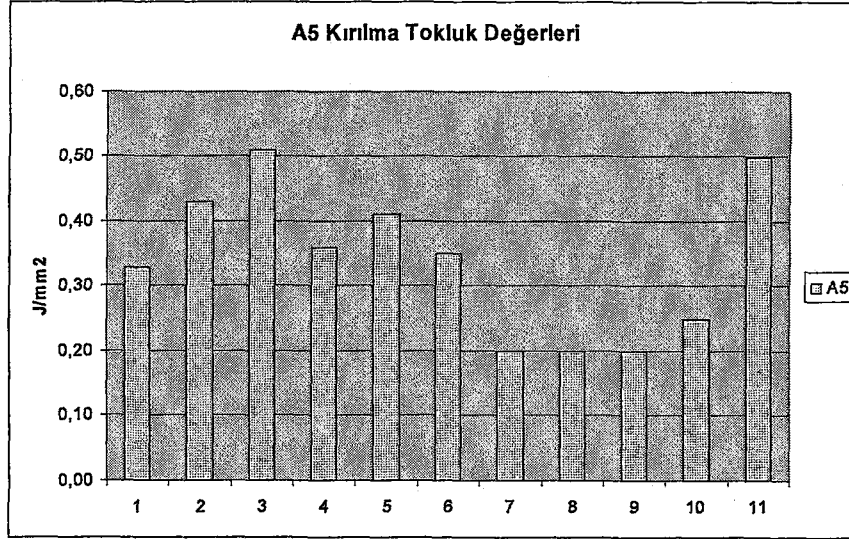
A5 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme

A5 numune grubunda A51 ve A52'nin yer aldığı 2 parti deney yapılmıştır. Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.5'de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.9'da grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.5: A5 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm2]
1	0,33
2	0,43
3	0,51
4	0,36
5	0,41
6	0,35
7	0,20
8	0,20
9	0,20
10	0,25
11	0,50
Ort	0,34



Şekil 3.9: A5 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.1.6 A6 numuneleri

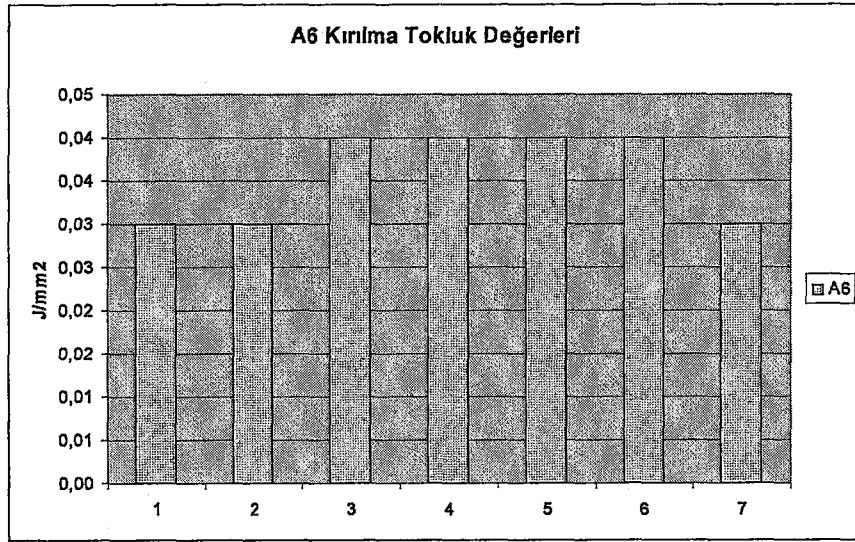
A6 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme + Tuz Banyosu Nitrürasyonu

A6 numune grubunda A61 ve A62'nin yer aldığı 2 parti deney yapılmıştır. Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.6'da verilmiş; aynı değerler Şekil 3.10'da grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.6: A6 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

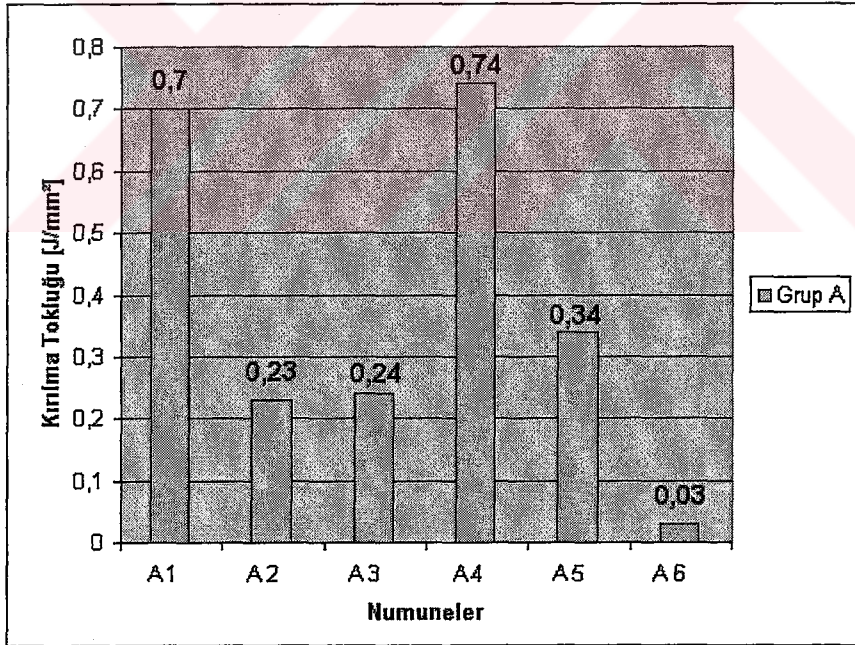
No	Kırılma Tokluğu [J/mm2]
1	0,03
2	0,03
3	0,04
4	0,04
5	0,04
6	0,04
7	0,03
Ort	0,03



Şekil 3.10: A6 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.1.7 Grup A numuneleri ortalama tokluk değerleri

Grup A numunelerini oluşturan alt grupların ortalama tokluk değerleri Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11: Grup A Numuneleri Ortalama Tokluk Değerleri

3.2 Fabrika İmalat Sürecinde Değişiklik Yapılarak Elde Edilen Numuneler (Grup B)

Deneylerde kullanılan tüm Grup B numunelerinin geçmiş olduğu imalat aşamaları; yani ne şekilde elde edildiği Şekil 3.12’de verilmiştir. Deney sonuçları bu kısmın ardından verilecek ve her deney sonucunun yanında deney yapılan numunelerin imalat geçmişi tekrar verilecektir.

	Sürtünme Kaynağı	İndüksiyon ile Temperleme 660° - 2 saat-AC	Mekanik İşlemler			Gerilim Giderme 660°-2 saat-AC	Gerilim Giderme 580°-2 saat-AC	Tuz Banyosu Nitrasyonu	Iyon Nitrasyonu
			Çapak alma	Doğrultma	Taşılama				
B1									
B2									
B3									
B4									
B5									
B6									
B7									

Şekil 3.12: Grup B Numunelerine Uygulanan İmalat İşlemleri

3.2.1 B1 numuneleri

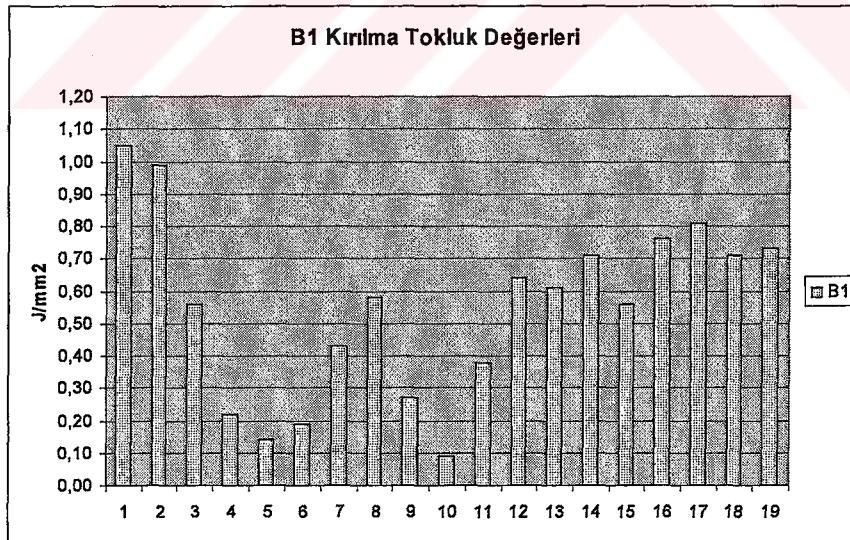
B1 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşılama

B1 numune grubunda B11, B12, B13’ün yer aldığı 3 parti deney yapılmıştır. Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.7’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.13’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.7: B1 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	1,05
2	0,99
3	0,56
4	0,22
5	0,14
6	0,19
7	0,43
8	0,58
9	0,27
10	0,09
11	0,38
12	0,64
13	0,61
14	0,71
15	0,56
16	0,76
17	0,81
18	0,71
19	0,73
Ort	0,55



Şekil 3.13: B1 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.2 B2 numuneleri

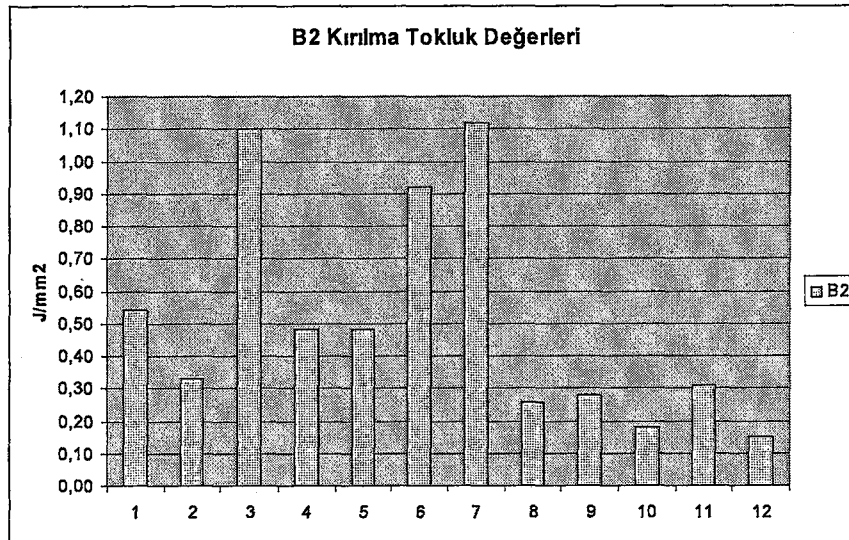
B2 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + İyon nitrürasyonu

B2 numune grubunda B21 ve B22'nin yer aldığı 2 parti deney yapılmıştır. Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.8'de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.14'de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.8: B2 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,54
2	0,33
3	1,10
4	0,48
5	0,48
6	0,92
7	1,12
8	0,26
9	0,28
10	0,18
11	0,31
12	0,15
Ort	0,51



Şekil 3.14: B2 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.3 B3 numuneleri

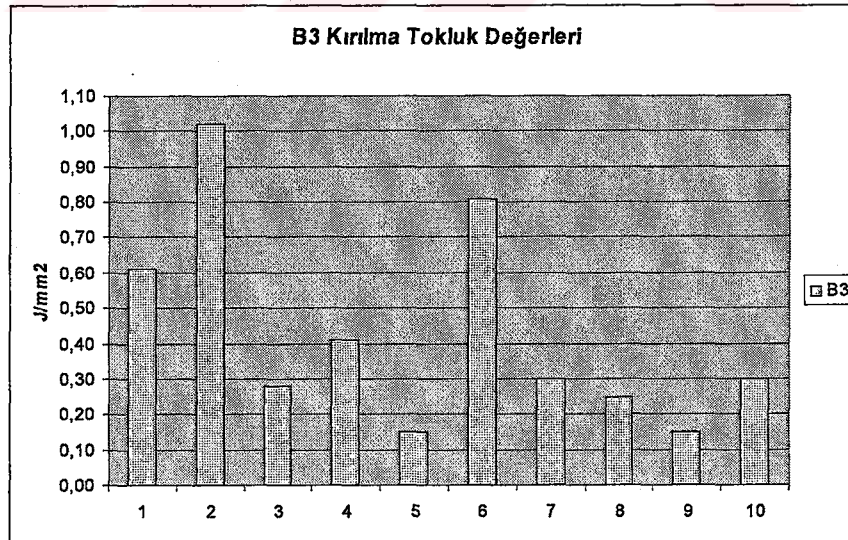
B3 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.9'da verilmiş; aynı değerler Şekil 3.15'de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.9: B3 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,61
2	1,02
3	0,28
4	0,41
5	0,15
6	0,81
7	0,30
8	0,25
9	0,15
10	0,30
Ort	0,43



Şekil 3.15: B3 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.4 B4 numuneleri

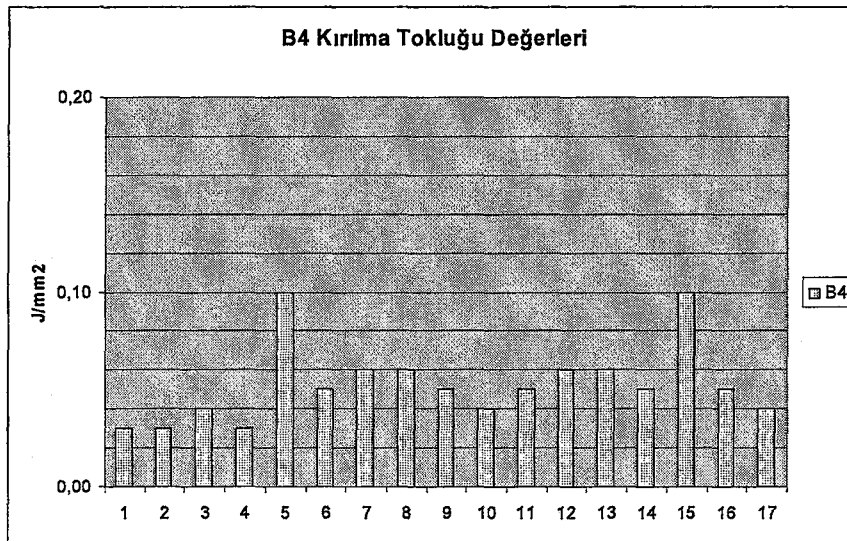
B4 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme + Tuz Banyosu Nitrürasyonu

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.10'da verilmiş; aynı değerler Şekil 3.16'da grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.10: B4 numunelerine ait tokluk değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,03
2	0,03
3	0,04
4	0,03
5	0,10
6	0,05
7	0,06
8	0,06
9	0,05
10	0,04
11	0,05
12	0,06
13	0,06
14	0,05
15	0,10
16	0,05
17	0,04
Ort	0,05



Şekil 3.16: B4 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.5 B5 numuneleri

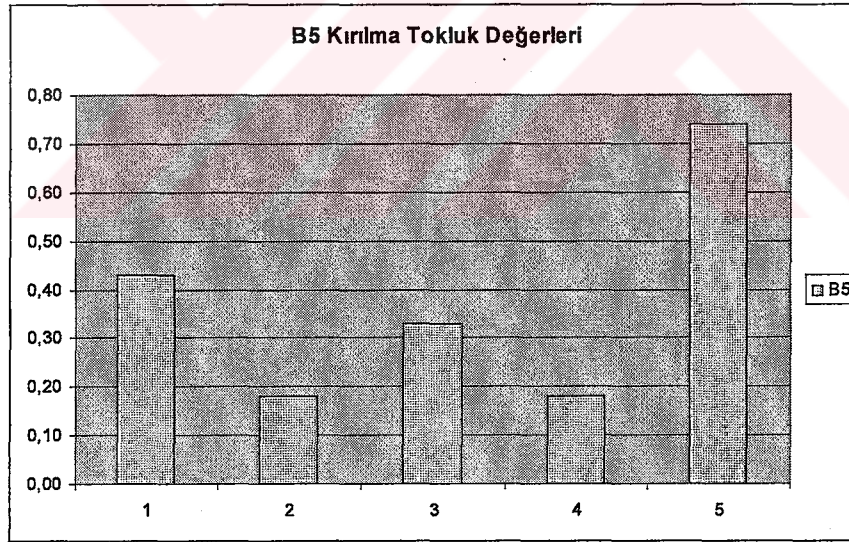
B5 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme + İyon Nitrürasyonu

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.11’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.17’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.11: B5 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,43
2	0,18
3	0,33
4	0,18
5	0,74
Ort	0,37



Şekil 3.17: B5 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.6 B6 numuneleri

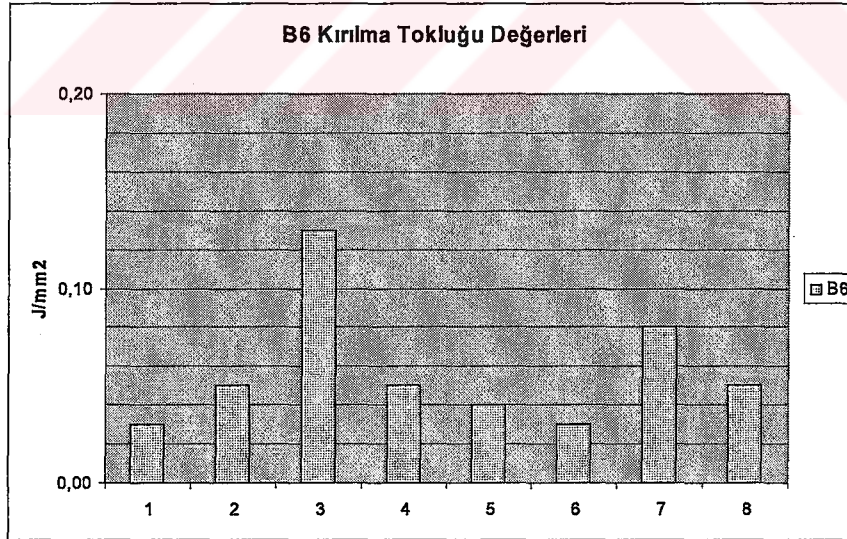
B6 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme (580°C’de)

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.12’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.18’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.12: B6 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,03
2	0,05
3	0,13
4	0,05
5	0,04
6	0,03
7	0,08
8	0,05
Ort	0,06



Şekil 3.18: B6 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.7 B7 numuneleri

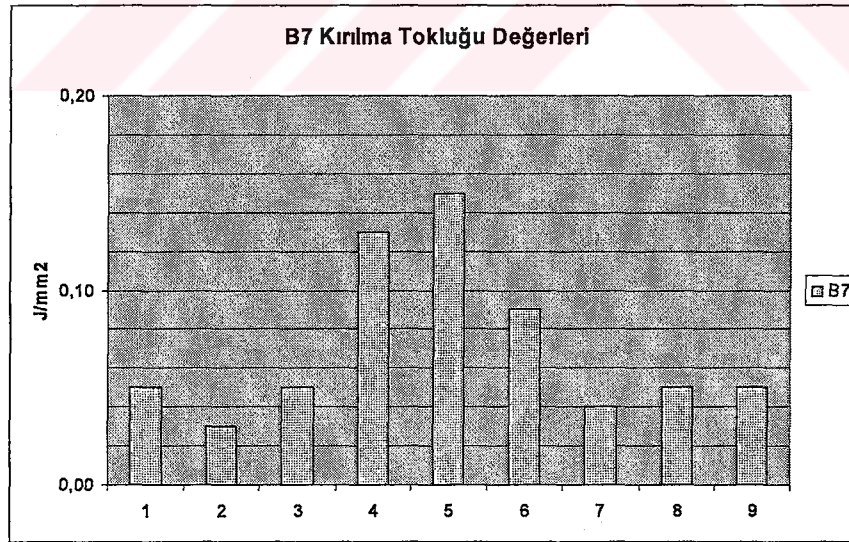
B7 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme (580°C’de) + Tuz Banyosu Nitrürasyonu

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.13’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.19’da grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.13: B7 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

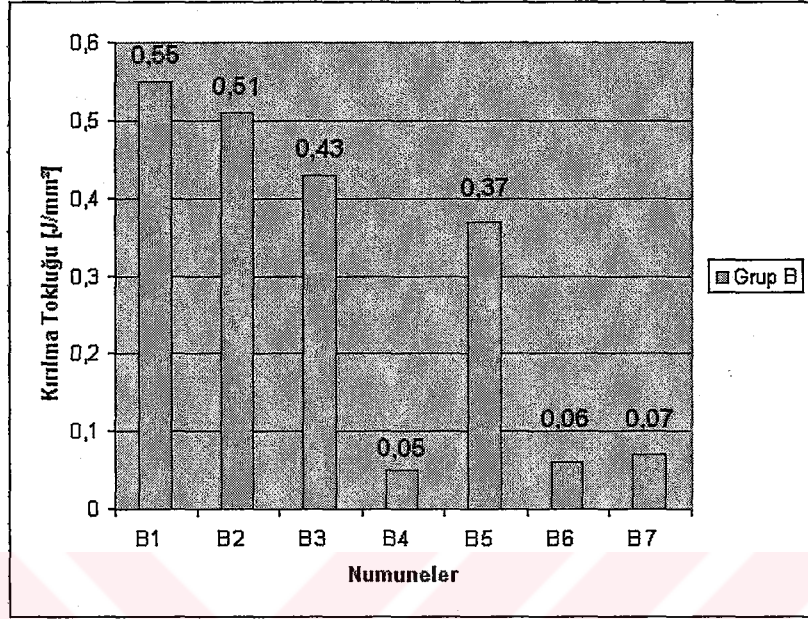
No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,05
2	0,03
3	0,05
4	0,13
5	0,15
6	0,09
7	0,04
8	0,05
9	0,05
Ort	0,07



Şekil 3.19: B7 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.2.8 Grup B numuneleri ortalama tokluk değerleri

Grup B numunelerini oluşturan alt grupların ortalama tokluk değerleri şekil 3.20’de verilmiştir.



şekil 3.20: Grup B Numuneleri Ortalama Tokluk Değerleri

3.3 Isıl işlemlerinin Bir Kısımlı İTÜ Laboratuarlarında Yapılmış Numuneler (Grup C)

Deneylerde kullanılan tđm Grup C numunelerinin geğmiş olduğu imalat aşamaları; yani ne şekilde elde edildiği şekil 3.21’de verilmiştir. Deney sonuçları bu kısmın ardından verilecek ve her deney sonucunun yanında deney yapılan numunelerin imalat geğmişi tekrar verilecektir.

Numune İmalat İşlemi	Sürtünme Kaynağı	İndüksiyon ile Temperleme 660°- 2 saat-Yağda soğutma	Mekanik İşlemler			Gerilim Giderme 660°-2 saat-Yağda soğutma	Tuz Banyosu Nitrasyonu
			Çapak alma	Doğrultma	Taşıma		
C1							
C2							
C3							
C4							

Şekil 3.21: Grup C Numunelerine Uygulanan İmalat İşlemleri

3.3.1 C1 numuneleri

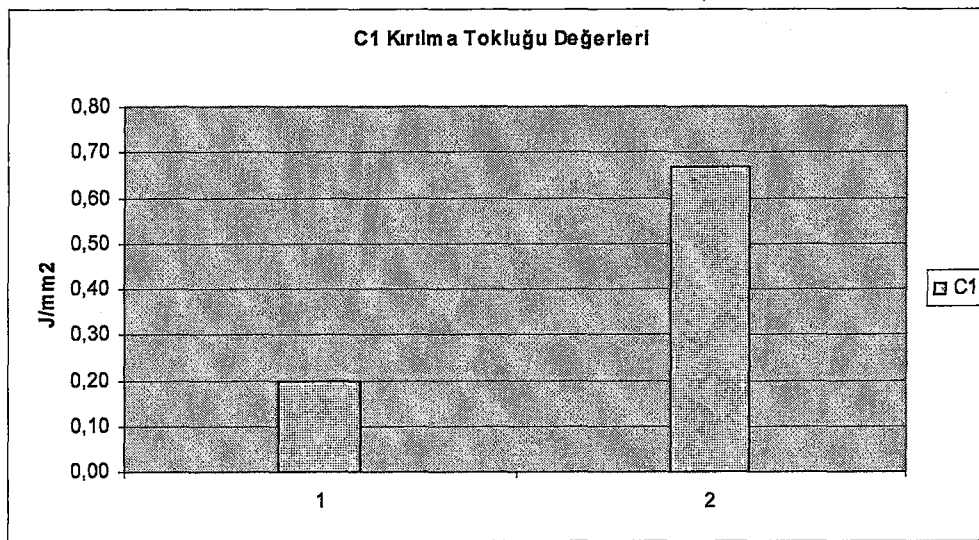
C1 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme (Yağda soğutma)

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.14’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.22’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.14: C1 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,20
2	0,67
Ort	0,44



Şekil 3.22: C1 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterimi

3.3.2 C2 numuneleri

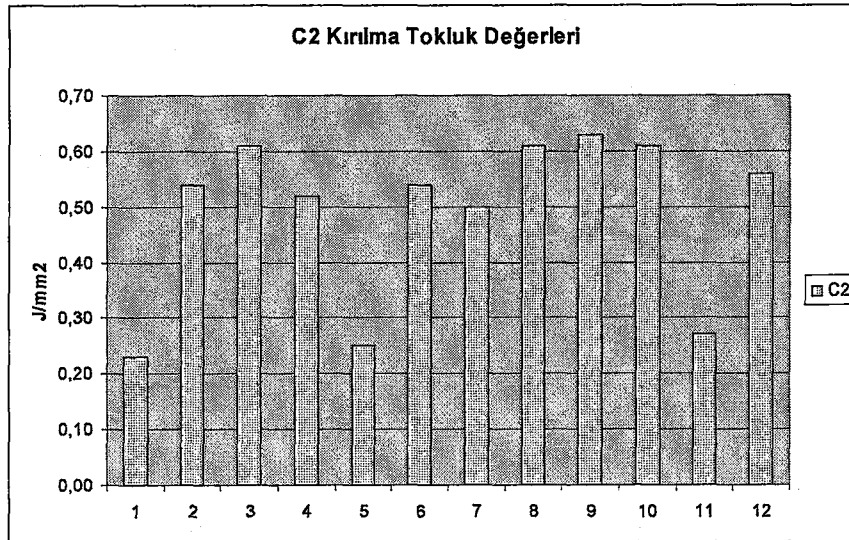
C2 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme (Yağda soğutma) + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.15’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.23’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.15: C2 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,23
2	0,54
3	0,61
4	0,52
5	0,25
6	0,54
7	0,50
8	0,61
9	0,63
10	0,61
11	0,27
12	0,56
Ort	0,49



Şekil 3.23: C2 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterim

3.3.3 C3 numuneleri

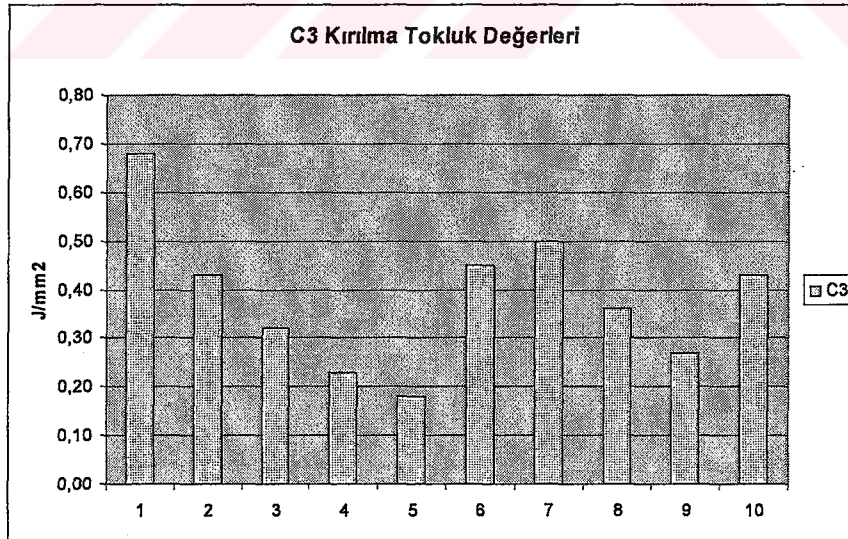
C3 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme (Yağda soğutma) + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme (Yağda soğutma)

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.16'da verilmiş; aynı değerler Şekil 3.24'de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.16: C3 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,68
2	0,43
3	0,32
4	0,23
5	0,18
6	0,45
7	0,50
8	0,36
9	0,27
10	0,43
Ort	0,39



Şekil 3.24: C3 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterim

3.3.4 C4 numuneleri

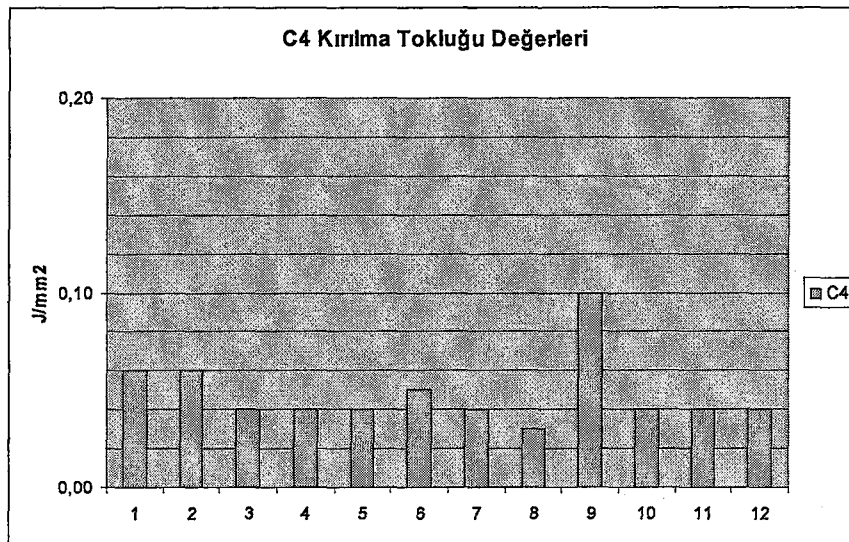
C4 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + İndüksiyon ile temperleme (Yağda soğutma) + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme (Yağda soğutma) + Tuz Banyosu Nitrürasyonu

Elde edilen tokluk değerleri Tablo 3.17’de verilmiş; aynı değerler Şekil 3.25’de grafik ile gösterilmiştir.

Tablo 3.17: C4 Numunelerine Ait Tokluk Değerleri

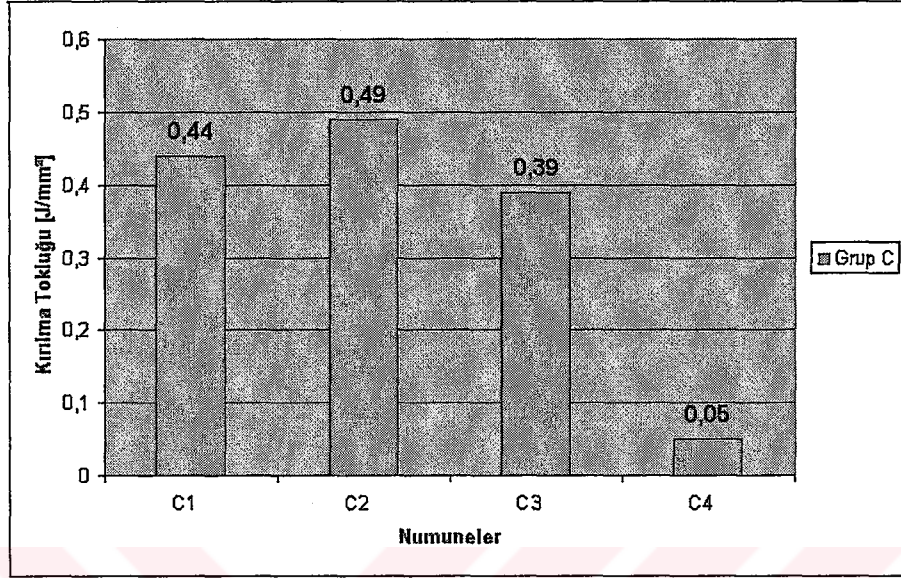
No	Kırılma Tokluğu [J/mm ²]
1	0,06
2	0,06
3	0,04
4	0,04
5	0,04
6	0,05
7	0,04
8	0,03
9	0,10
10	0,04
11	0,04
12	0,04
Ort	0,05



Şekil 3.25: C4 Numunelerine Ait Tokluk Değerlerinin Grafik Gösterim

3.3.5 Grup C numuneleri ortalama tokluk değerleri

Grup B numunelerini oluşturan alt grupların ortalama tokluk değerleri şekil 3.26'da verilmiştir.



şekil 3.26: Grup C Numuneleri Ortalama Tokluk Değerleri

3.4 Grup A Numunelerine Uygulanan Mikroyapı İncelemeleri ve Sertlik Taramaları

Grup A numunelerinden üç grup numune alınarak kırılma bölgeleri incelenmiştir. Alınan numuneler A4, A5 ve A6 numuneleridir. Yani gerilim giderme öncesi, gerilim giderme sonrası ve nitrürasyon işlemi sonrası numuneler alınmıştır. Üç alt gruptan kendi grupları içerisindeki en düşük ve en yüksek tokluklu numuneler alınarak inceleme yapılmıştır.

Tablo 3.18: Mikroyapı incelemesi için alınan numuneler

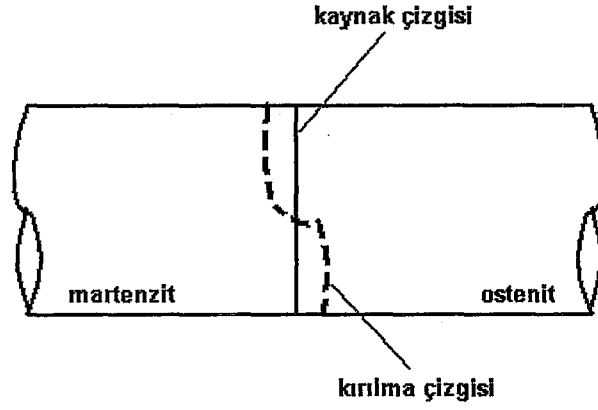
		Kırılma Tokluğu [J/mm2]	
		En düşük	En yüksek
A4	A41	---	0,74
	A42	0,28	---
A5	A51	---	0,51
	A52	0,20	---
A6	A61	---	0,04
	A62	0,03	---

3.4.1 A4 numuneleri

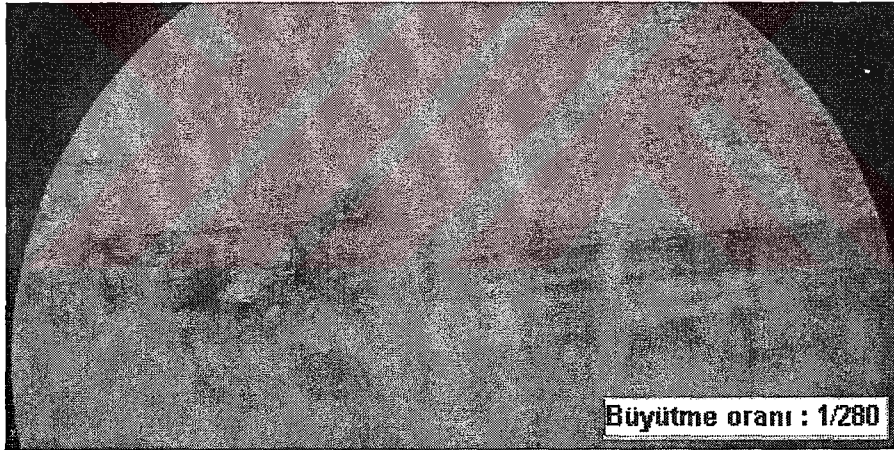
A4 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama

A41 numunesi için;

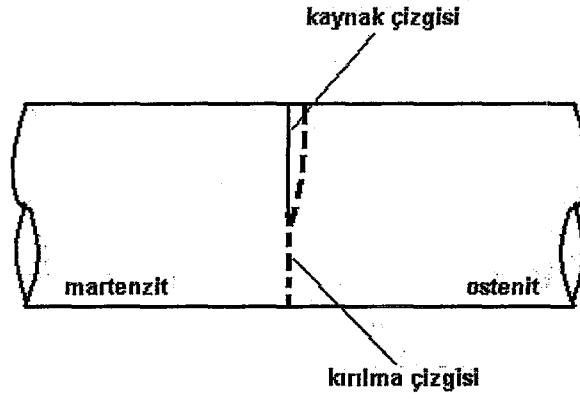


Şekil 3.27: A41 Numunesi Kırılma Bölgesinin Şematik Gösterimi



Şekil 3.28: A41 Numunesi Kırılma Bölgesi Mikroyapısı

A42 numunesi için;



Şekil 3.29: A42 Numunesi Kırılma Bölgesinin Şematik Gösterimi



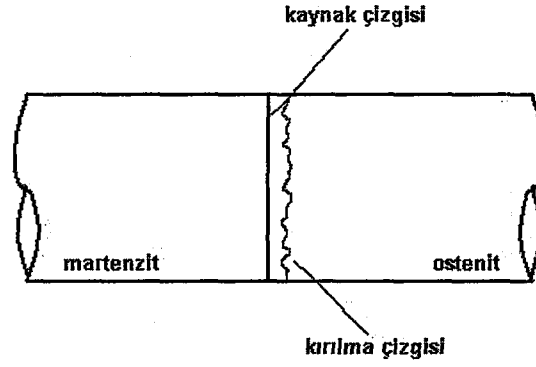
Şekil 3.30: A42 numunesi kırılma bölgesi mikroyapısı

3.4.2 A5 numuneleri

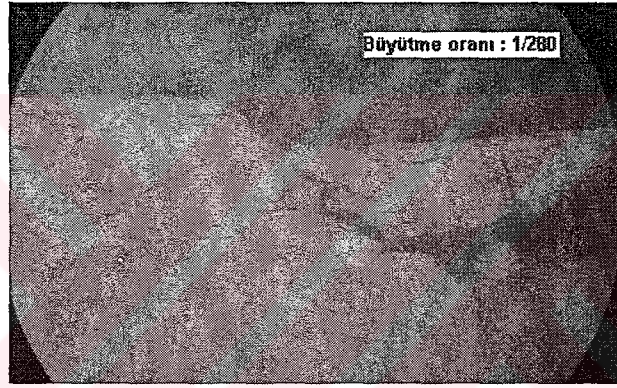
A5 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama + Gerilim Giderme

A51 numunesi için;

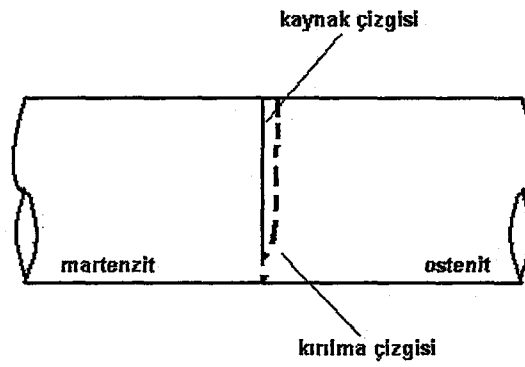


Şekil 3.31: A51 Numunesi Kırılma Bölgesinin Şematik Gösterimi

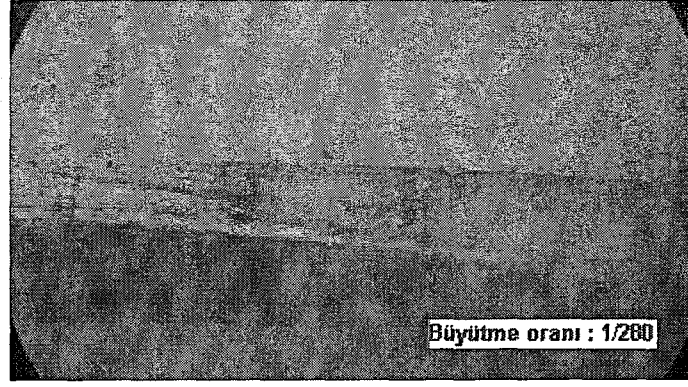


Şekil 3.32: A51 Numunesi Kırılma Bölgesi Mikroyapısı

A52 numunesi için;



Şekil 3.33: A52 Numunesi Kırılma Bölgesinin Şematik Gösterimi



Şekil 3.34: A52 Numunesi Kırılma Bölgesi Mikroyapısı

3.4.3 A6 numuneleri

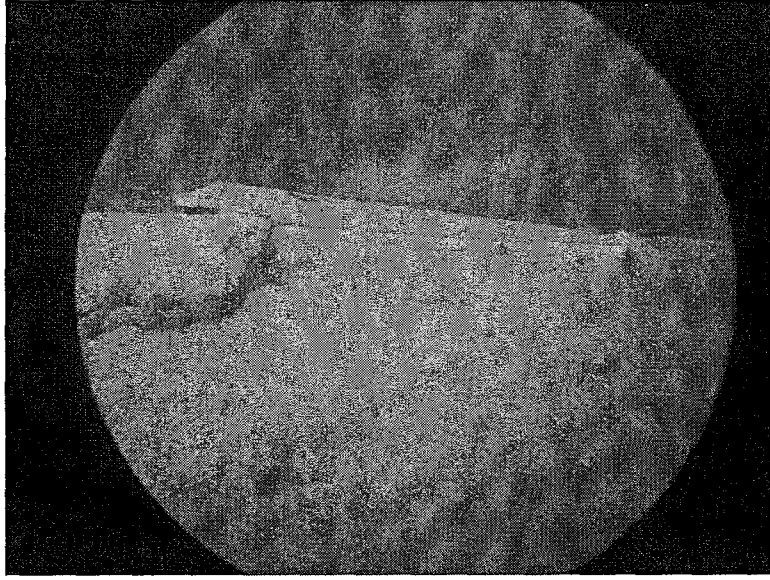
A6 numunelerinin geçmiş olduğu imalat işlemleri aşağıda verilmiştir.

Sürtünme kaynağı + Fırında temperleme + Çapak alma + Doğrultma + Taşlama +
Gerilim Giderme + Tuz Banyosu Nitrürasyonu

A61 numunesi için;

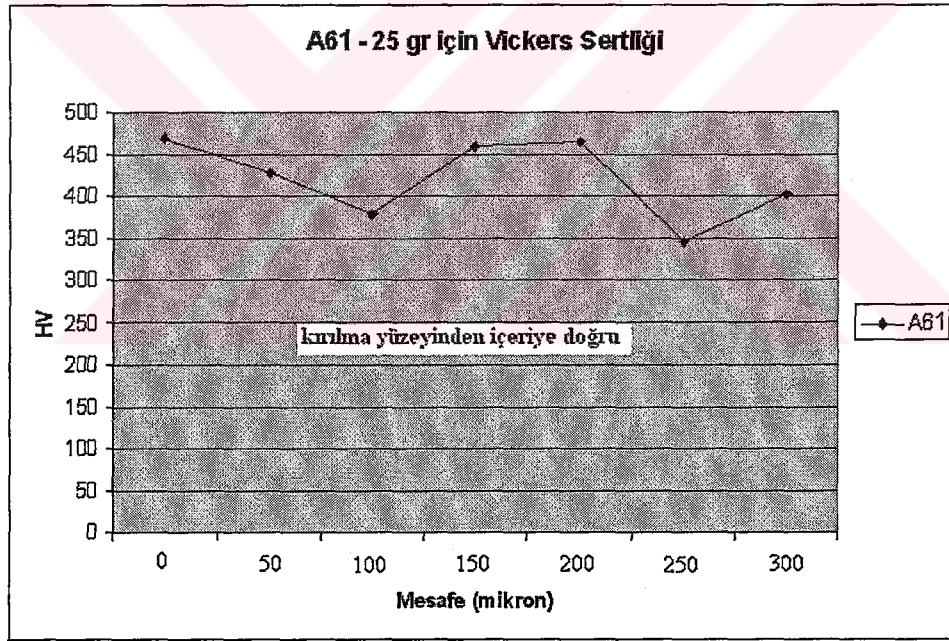


Şekil 3.35: A61 Numunesi Kırılma Bölgesinin Şematik Gösterimi



Şekil 3.36: A61 Numunesi Kırılma Bölgesi Mikroyapısı

A61 numunesine yapılan sertlik taramasının sonuçları Şekil 3.37’de görülmektedir.

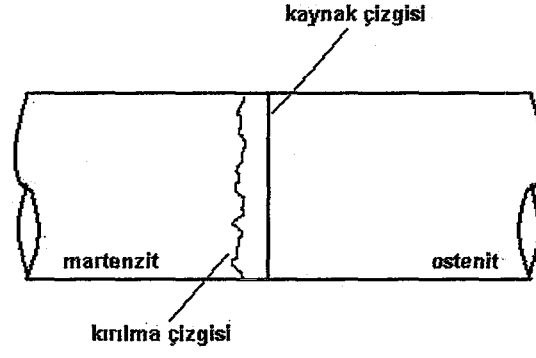


Şekil 3.37: A61 Numunesi Sertlik Taraması

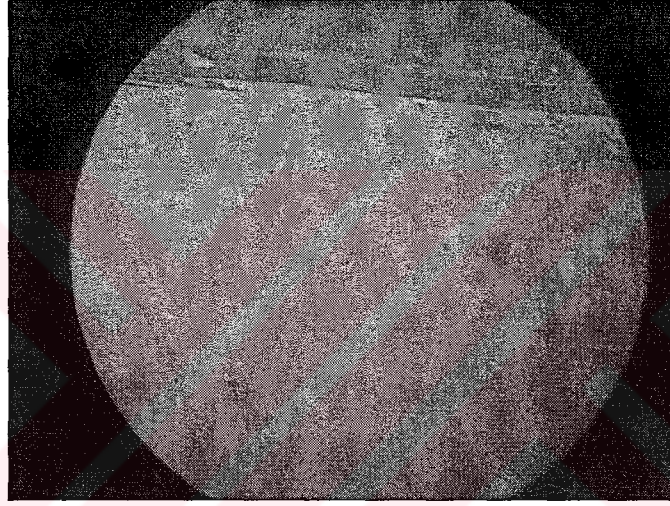
Tablo 3.19: A61 Numunesi Sertlik Taraması Değerleri

Ölçüm mesafesi (mikron)	0	50	100	150	200	250	300
Sertlik (HV 25)	468	427	378	459	464	346	402

A62 numunesi için;

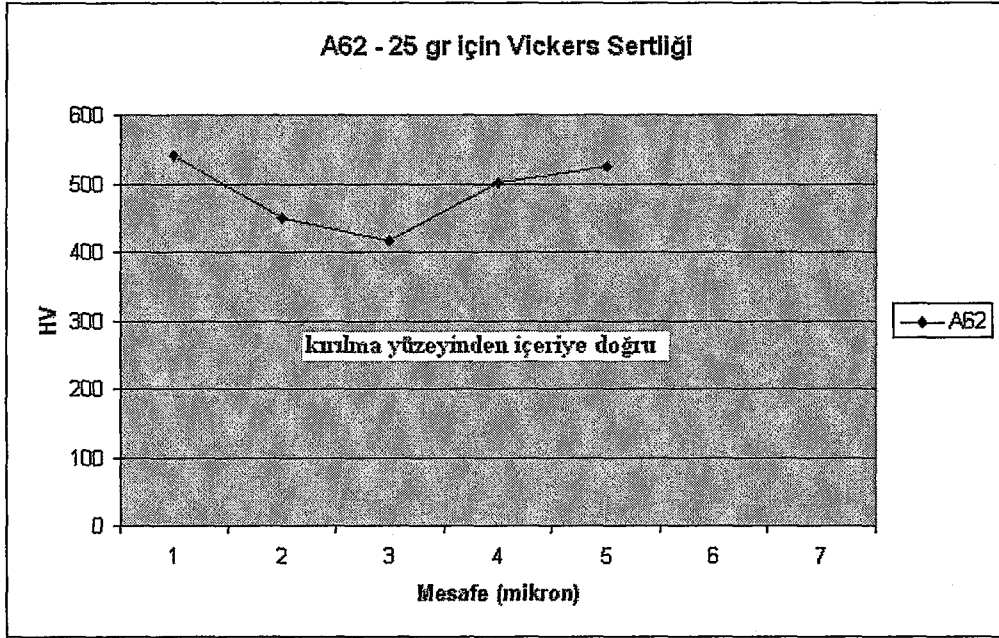


Şekil 3.38: A62 Numunesi Kırılma Bölgesinin Şematik Gösterimi



Şekil 3.39: A62 Numunesi Kırılma Bölgesi Mikroyapısı

A61 numunesine yapılan sertlik taramasının sonuçları Şekil 3.40'da görülmektedir.



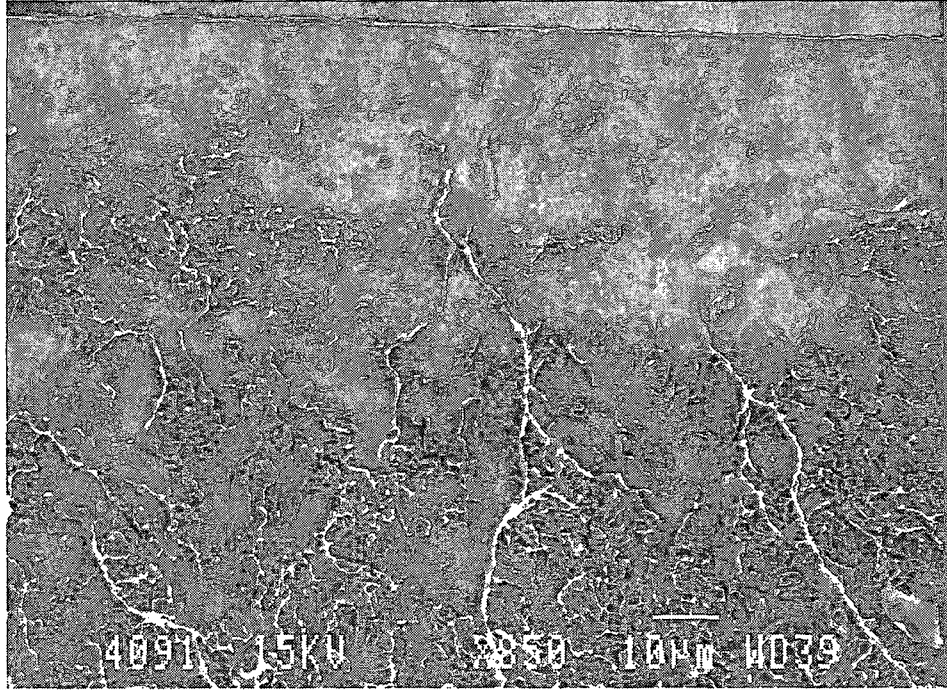
Şekil 3.40: A62 Numunesi Sertlik Taraması

Tablo 3.20: A62 Numunesi Sertlik Taraması Değerleri

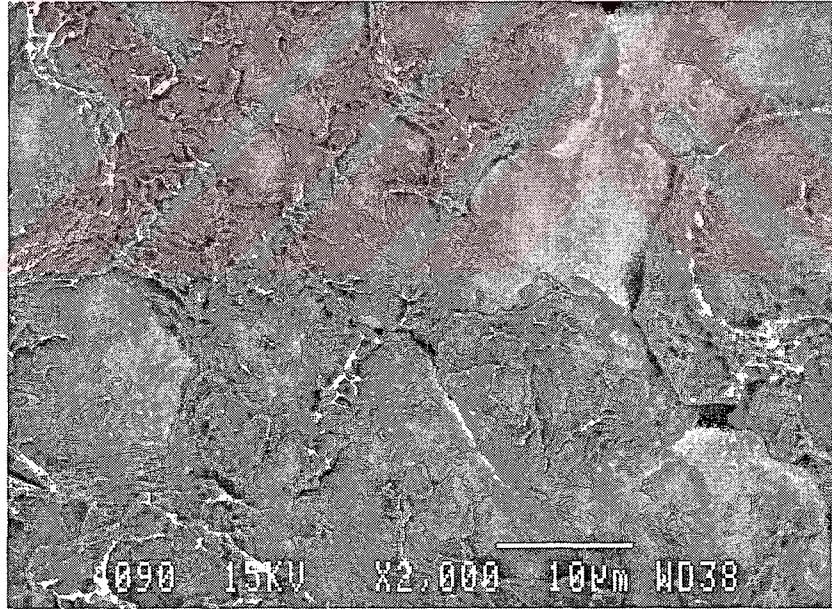
Ölçüm mesafesi (mikron)	0	50	100	150	200
Sertlik (HV 25)	542	449	416	501	525

3.4.4 A6 numunesi elektron mikroskobu görüntüleri

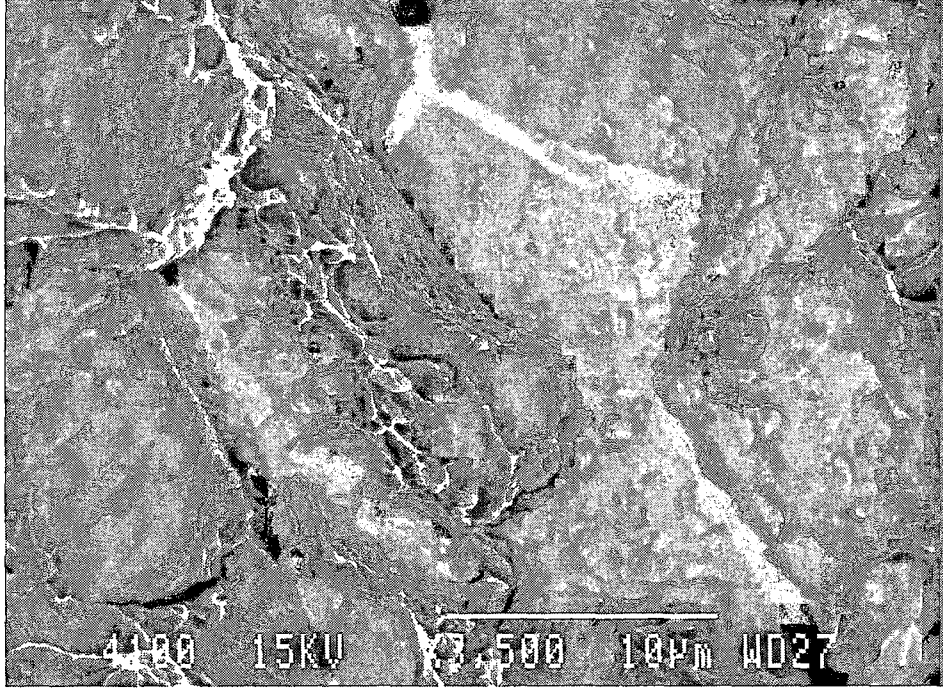
Fabrikanın normal üretim süreci ile imal edilmiş ve tüm işlemlerden geçmiş olan supap numunesi, darbe deneyi ile kırılmasının ardından supap kırılma yüzeyi elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Elde edilen görüntüler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.41: A62 Numunesi Kırılma Yüzeyi



Şekil 3.42: A62 Numunesi Kırılma Yüzeyi Merkezinden Görüntü



Şekil 3.43: A62 numunesi kırılma yüzeyi merkezinden görüntü

Şekil 3.41’de tuz banyosu nitrürasyonu sonucunda oluşan beyaz tabaka görülmektedir. Şekil 3.42 ve 3.43 ise tanelerarası kırılmayı göstermektedirler. Özellikle Şekil 3.43’de taneler arası kırılma ve tane sınırlarında faz çökmesi görülmektedir.

4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR

4.1 Değerlendirme

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda supap numunelerinde meydana gelen gevrekliğin iki temel nedene dayandığı tespit edilmiştir.

- Sıcaklık
- Zaman

Gevrekliğe yol açan ilk etkenlerden biri kaynak işlemi sonrası yapılan temperleme işlemidir. Eğer bu işlem fırında yapılırsa kaynaktan sonra parçalar 2-7gün bekletilmektedir. Kaynak edilen parçalar ostenitik-martenzitik supap çelikleridir ve Şekil 2.16'da verilen Schaffler diyagramına bakıldığında %50-50 oranında karışım olması halinde kaynak bölgesi ostenit olacaktır. Ostenit olan kaynak bölgesinde havada soğuma sonucunda martenzitik dönüşüm meydana gelecektir ve bu da yapıyı oldukça sert ve gevrek hale getirecektir. Buna bağlı olarak kaynaklanmış supabın temperlenmeden bekletilmesi su verme çatlaklarının oluşmasını teşvik eder. Oluşan bu çatlaklar; ileriki aşamalarda tokluğun düşmesine neden olurlar. Supap sertliği, kaynak işlemi ardından temperlenmemiş ve temperlenmiş durum için Şekil 2.31'de verilmiştir.

Tüm işlemlerden geçerek kullanıma hazır gelen supap numunelerinden ikisi olan A6 ve B4 supap numunelerinden A6 fırında temperlenmiş, B4 ise bekletilmeden indüksiyon ile temperlenmiştir. Yapılan darbe deneyleri sonucunda A6 numunesinin tokluk değeri 0.03 J/mm^2 , B4 numunesinin tokluk değeri 0.05 J/mm^2 olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre indüksiyon ile temperleme tercih edildiğinde ostenitik-martenzitik paslanmaz çelik supapların tokluk değerinde %167 artış olmaktadır.

Tablo 3.21: İndüksiyon İle Temperlemenin Tokluğa Etkisi (a) Tuz Banyosu Nitrürasyonu Sonrası (b) Gerilim Giderme Sonrası

(a)

Numune	Temperleme	Ortalama Kırılma Enj. [J/mm ²]	Sonuç
B4	İndüksiyon	0,05	İndüksiyon ile temperleme olumlu sonuç vermiştir.
A6	Fırın	0,03	

(b)

Numune	Temperleme	Ortalama Kırılma Enj. [J/mm ²]	Sonuç
B3	İndüksiyon	0,43	İndüksiyon ile temperleme olumlu sonuç vermiştir.
A5	Fırın	0,34	

Ayrıca İTÜ laboratuvarında ısıt işlemleri yapılan ve bu ısıt işlemlerin ardından temper gevrekliğini engellemek için yağda soğutulan Grup C numunelerinin son ürünü olan ve tüm işlemlerden geçen C4 supap numunesinin de tokluk değeri B4 ile aynı olarak 0.05 J/mm² bulunmuştur.

Normal imalat sürecinden farklı olarak yapılan bir başka değişiklik de gerilim giderme sıcaklığının 660°C'den 580°C'ye düşürülmesidir. Bu değişiklikle B7 numunesi elde edilmiştir. B7 numunesinin bir diğer özelliği de indüksiyon ile temperlenmiş olmasıdır. B7 numunesinin tokluk değeri 0.07 J/mm² olarak bulunmuştur. Bu sonuç B4 numunesi ile kıyaslanırsa indüksiyon ile temperlemenin yanında gerilim giderme sıcaklığının da düşürülmesinin supap tokluk değerini 0.05 J/mm²'den 0.07 J/mm²'ye arttırdığı görülmektedir. Yani %140'lık bir artış meydana gelmiştir. Ayrıca B7 numunesi fırında temperlenmiş ve 660°C'de gerilim giderme

işlemine tabi tutulmuş olan A6 numunesi ile karşılaştırıldığında supap tokluk değerinin 0.03 J/mm^2 'den 0.07 J/mm^2 'ye arttığı; yani %230'luk bir artış olduğu görülmektedir.

Tablo 3.22: Gerilim Giderme Sıcaklığının Tokluğa Etkisi

Numune	Kaynak sonrası Temperleme	Gerilim giderme sıcaklığı	Nitrürasyon sıcaklığı	Tokluk $[\text{J/mm}^2]$	Sonuç
B4	İndüksiyon	660° C	570° C	0,06	B7, B4'den daha toktur.
B7	İndüksiyon	580° C	570° C	0,07	

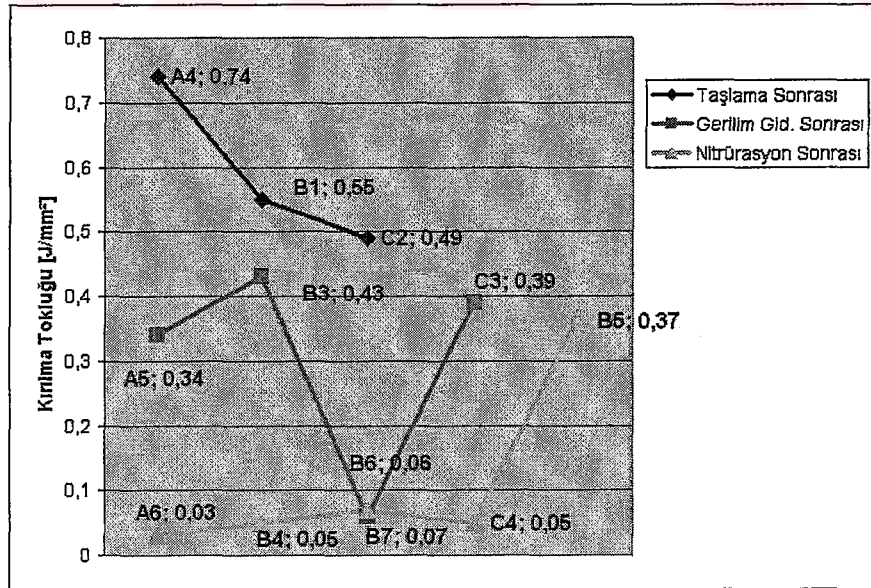
İmalat sürecinde yapılan bir başka değişiklik ve belki de en önemlisi tuz banyosu nitrürasyonu yerine iyon nitrürasyonu kullanılmasıdır. İyon nitrürasyonu yapılarak elde edilen son ürün supap numunesi B5 kodu ile anılmaktadır. B5 numunesinin tokluk değeri 0.37 J/mm^2 olarak bulunmuştur. Aynı zamanda indüksiyon ile temperlenmiş olan B5 numunesi, diğer numuneler ile kıyaslanamayacak ölçüde yüksek tokluk değerine sahiptir. Bu derece fark olmasının sebebi Şekil 3.43'de görülen tuz banyosu nitrürasyonu ile elde edilmiş supapta meydana gelen faz çökelmelerine bağlı tanelerarası kırılma ile açıklanabilir. İyon nitrürasyonu işlemi, daha düşük sıcaklıklarda ve daha kontrollü olarak yapıldığı için bu tip çökelmelerin oluşmadığı ve dolayısıyla tokluğun daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu etkiyi azaltmak için tuz banyosu nitrürasyonunun işlem sıcaklığı ve süresinin de azaltılması düşünülebilir. Böylece yayınma engelleneceği için toklukta artış sağlanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 3.23: İyon Nitrürasyonun Tokluğa Etkisi

Numune	Kaynak sonrası Temperleme	Gerilim giderme sıcaklığı	Nitrürasyon sıcaklığı	Tokluk [J/mm ²]	Sonuç
A6	Fırın	660° C	570° C	0,03	B7, A6'dan daha toktur.
B7	İndüksiyon	580° C	570° C	0,07	
B5	İndüksiyon	660° C	450° C (İYON N.)	0,37	Yüksek tokluk

Tüm gruplardan taşlama sonrası, gerilim giderme sonrası ve nitrürasyon sonrası alınmış olan numunelerin ortalama tokluk değerleri Şekil 3.44'de karşılaştırılmıştır.

- ✓ Taşlama Sonrası: A4 – B1 – C2
- ✓ Gerilim Giderme Sonrası: A5 – B3 – B6 – C3
- ✓ Nitrürasyon sonrası: A6 – B4 – B5 – B7 – C4

**Şekil 3.44: Ortalama Değerlerin Karşılaştırılması**

Görüldüğü gibi, her numune grubunda taşlama sonrası artmış olan tokluk değerinin gerilim giderme ve nitrürasyon işlemlerinden sonra giderek azaldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlara bakılarak taşlama sonrası meydana gelen tokluk artışının, sürtünme kaynağı sonrasında oluşan sert martenzitik yapının (bkz. Şekil 2.31), temperlemenin gecikmesi nedeni ile oluşturduğu yüzey çatlaklarının taşlama işlemi ile yok edilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Gerilim giderme işleminden sonra meydana gelen tokluk azalmasının ise 450°- 650°C temper gevrekliği etkisi ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Son olarak nitrürasyon işleminin ardından meydana gelen ciddi tokluk azalması, nitrürasyon işlemi esnasında tane sınırlarında meydana gelen faz çökelmeleri ile bağlantılıdır.

4.2 Sonuçlar

Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. İndüksiyon ile temperleme, fırında temperleme işleminden daha olumlu sonuçlar vermektedir.
2. Taşlama işleminin kaynak sonrası bekleme esnasında yüzeyde oluşan kılcal çatlakları yok ettiği ve buna bağlı olarak tokluk değerinde artış olduğu düşünülmektedir.
3. Gerilim giderme işlemi sonrasında tokluk değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu olayın temper gevrekliği ile ilgisi olabileceği düşünülmektedir.
4. İyon nitrürasyonu ile hazırlanmış numunelerin oldukça yüksek tokluk değerlerine sahip oldukları görülmüştür.
5. Sıvı nitrürasyon işleminin yol açtığı gevreklik probleminin, tane sınırlarında meydana gelen faz çökelmelerine bağlı olarak oluşan tanelerarası gevrek kırılmaya yol açtığı görülmüştür.
6. Sıvı nitrürasyon işlem sıcaklığını ve zamanı azaltmanın difüzyon olayını engelleyerek tane sınırında oluşan faz çökelmelerinin azalacağı ve supap tokluk değerlerinin artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **ÖZ, İsmail Hakkı; Borat, Oğuz;. Sürmen, Ali;** 1994. İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [2] **Heywood, John B.,** 1987. Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc-Graw Hill Inc., New York
- [3] **Lichty, Lester C.,** 1967. Combustion Engine Process, , Mc-Graw Hill Inc., New York
- [4] **Supsan Şirket Literatürü,** 2004
- [5] **Schwaller, Anthony E.;** 1999. Motor Automotive Technology, Third Edition, Delmar Publishers, New York
- [6] **SAE Handbook Volume I,** 1997.
- [7] **Krauss, George;** 1990. Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, Ohio
- [8] **Schakelford, J.;** 1992. Introduction to Material Science for Engineers, Third Edition, Macmillan, London-New York
- [9] **Demirkol, Mehmet;** Malzemelerin Mekanik Davranışı Ders Notları
- [10] **ASM Handbook, Volume 16: Welding, Brazing and Soldering,** ASM International
- [11] **Temper Embrittlement, www.key-to-steel.com**
- [12] **Pye, David;** 2003. Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, Ohio
- [13] **Tüysüz, Gülhan** 1999. Çökelme ile Sertleştirilebilen Paslanmaz Çelikler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İzmit'te dünyaya gelen Mehmet KALK ortaokulu okuduğu Özel Seymen Lisesi'ni 1996 yılında birincilikle bitirerek Özel Seymen Fen Lisesi'nde burslu olarak okuma hakkı kazandı. 1999 yılında Özel Seymen Fen Lisesi'nden ikincilikle mezun olmasının ardından yine aynı yıl içerisinde 9 Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim görmeye başladı. 2003 yılında 9 Eylül Üniversitesi'nden bölüm üçüncüsü olarak mezun olmasının ardından 2003 yılı Güz Döneminde İTÜ FBE Makine Mühendisliği ABD Malzeme ve İmalat Teknolojisi programında yüksek lisans yapma hakkını kazandı. Şu an özel bir şirkette Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır.

