



**SEMENTASYON YAPILAN SAE 8620 KALİTE ÇELİĞE KRİYOJENİK
SOĞUTMA UYGULAMASI YAPILARAK KALINTI GERİLMELERİNİN
İNCELENMESİ**

Zihni DEMİRKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2014

Zihni DEMİRKAYA tarafından hazırlanan “SEMENTASYON YAPILAN SAE 8620 KALİTE ÇELİĞE KRİYOJENİK SOĞUTMA UYGULAMASI YAPILARAK KALINTI GERİLMELERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Fırat KAFKAS

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Zihni DEMİRKAYA

24.06.2014

SEMENTASYON YAPILAN SAE 8620 KALİTE ÇELİĞE KRİYOJENİK SOĞUTMA UYGULAMASI YAPILARAK KALINTI GERİLMELERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Zihni DEMİRKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2014

ÖZET

Endüstride yaygın olarak kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2) kalite sementasyon çeliği, mil ve dişli çark yapımında kullanılan başlıca malzemelerdendir. Kriyojenik işlemin, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, SAE 8620 kalite çeliğe; sementasyon sonunda yapılan -145°C’de 24 saat bekletmek suretiyle derin kriyojenik işlem ve sonrasında temperleme (1 ve 3 saatlik) işlemi uygulanarak, 7 farklı kategoride sınıflandırılan numunelerin mekanik özellikleri (mikrosertlik, çekme testi) ve malzemenin servis ömrünü doğrudan etkileyen kalıntı gerilme değerleri üzerindeki kalıcı etkileri araştırılmıştır. Kalıntı gerilmelerinin ölçülmesinde katman kaldırma metodu kullanılmış ve katman kaldırma işlemi elektrokimyasal yöntemle gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, derin kriyojenik işlem uygulanan numunelerde, mikrosertlik, çekme testi ve kalıntı gerilmesi bakımından geleneksel ısıtma işlemi uygulanan numunelere göre olumlu etkide bulunarak daha iyi sonuçlar sergilediği belirlenmiştir. Buna karşın, mikrosertlik, çekme testi ve kalıntı gerilmesi arasında ciddi bir korelasyon tespit edilememiştir.

Bilim Kodu : 703.1.022
Anahtar Kelimeler : Sementasyon, kriyojenik işlem, kalıntı gerilmesi, mikrosertlik
Sayfa Adedi : 83
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

CRYOGENIC TREATMENT OF THE APPLICATION BE CARBURIZED STEEL SAE
8620 INVESTIGATION OF RESIDUAL STRESSES

(M.Sc. Thesis)

Zihni DEMİRKAYA

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

June 2014

ABSTRACT

SAE 8620 (21NiCrMo2) carburized steel which is widely used in the industry is one of the primary materials used in the manufacturing of shafts and gears. It is known that cryogenic process improves the mechanical properties of materials. In this study, SAE 8620 steel were subjected to carburization process at the -145°C for 24-hour duration and to deep cryogenic treatment and after these processes, tempering (1 and 3 hours) process was applied; after all these procedures, seven different categories among the studied samples were classified according to their mechanical properties (microhardness, tensile test). Afterwards the long-lived effects of the material's service life due to the residual stress values were investigated. Layer removal method was used for the measurement of residual stress and it was carried out by the electrochemical method. As a result, the samples subjected to deep cryogenic process were better in the productive results than the samples subjected to microhardness, tensile test and the residual stress applied by the conventional heat treatment. However, as a result of these processes, there was no significant correlation detected among the microhardness, tensile test and the residual stress.

Science Code : 703.1.022
Key Words : Carburized, cryogenic process, residual stress, microhardness
Page Number : 83
Supervisor : Assist. Prof. Dr. İhsan TOKTAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ'a şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında değerli bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım ve bu tezi tamamlamamda çok büyük yardımları olan Prof. Dr. Abbas Tamer ÖZDEMİR ve Doç. Dr. Fırat KAFKAS'a, ayrıca değerli arkadaşım Gürhan HÖKE'ye ve onun nezdinde laboratuvar çalışmalarında imkânlarından faydalandığım Türk Traktör A.Ş. ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması esnasında beraber çalıştığım Bilal KÖYLÜOĞLU'na ve başta Sayın Daire Başkanımız Dr. Erol TİMUR olmak üzere MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığında görev yapan tüm iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve bugüne değin hep yanımda olup daima ilgi ve desteğiyle beni yüreklendiren hayat arkadaşım, çok değerli eşim, canım Serap DEMİRKAYA ve çocuklarım Ceyda ve Alperen'e teşekkürü bir borç bilir ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SEMENTASYON ÇELİKLERİ.....	9
3. SIFIRALTI İŞLEM	13
3.1. Kriyojeni ve Kriyojenik İşlem.....	14
3.1.1. Kriyojenik işlem uygulamalarında kullanılan soğutma metotları.....	17
3.1.2. Direkt soğutma metodu	17
3.1.3. Endirekt soğutma metodu.....	18
4. KALINTI GERİLMESİ.....	21
4.1. Kalıntı Gerilme Tipleri.....	21
4.2. Kalıntı Gerilmesi Ölçüm Metodları.....	22
4.2.1. Katman kaldırma yöntemi	22
5. MALZEME VE METOD	29
5.1. Malzeme	29
5.2. Talaş Kaldırma İşlemleri	30
5.3. Isıl İşlemler	30
5.4. Mikro Sertlik Testleri	34
5.5. Çekme Testleri	35

Sayfa

5.6. Kalıntı Gerilme Ölçümleri	36
5.6.1. Deney aşaması	36
5.6.2. Kalıntı gerilmelerinin hesaplanması	39
6. DENEYSEL BULGULAR	43
6.1. Mikrosertlik Testi Bulguları	43
6.2. Çekme Deneyi Bulguları.....	51
6.3. Kalıntı Gerilmesi Deney Bulguları	55
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
7.1. Vickers Mikrosertlik (HV) Değeri Sonuçları	63
7.2. Çekme Testi Sonuçları	65
7.3. Kalıntı Gerilmesi Sonuçları.....	67
7.4. Yorumlar	69
7.5. Öneriler	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. SAE 8620 sementasyon çeliğinin diğer ülke standartlarında yaklaşık karşılıkları	9
Çizelge 2.2. SAE 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal bileşimi	10
Çizelge 2.3. SAE 8620 Sementasyon çeliğinin mekanik özellikleri (Sementasyon ve sertleşmeden sonra)	10
Çizelge 2.4. SAE 8620 sementasyon çeliğinin ısıtılma işlem koşulları.....	10
Çizelge 3.1. Kriyojenik sıvılar ve atmosferik buharlaşma sıcaklıkları	15
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan SAE 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal analizi ...	29
Çizelge 5.2 Deneyde kullanılan SAE 8620 sementasyon çeliğinin sertifika bilgileri ...	29
Çizelge 5.3. Deney numunelerine uygulanan işlem şartları ve deney varyantları.....	31
Çizelge 6.1. Mikrosertlik testi sonuçları	43
Çizelge 6.2. Mikrosertlik değerlerinin dış ve iç kısma göre ortalama fark değerleri	51
Çizelge 6.3. Çekme testi numunelerinin birleştirilmiş verisi	52
Çizelge 6.4. Numunelerin ortalama akma ve kopma dayanımı.....	55
Çizelge 6.5. Numunelerin geometrik ölçüleri.....	56
Çizelge 7.1. Mikrosertlik değerlerinin numunelere göre karşılaştırmalı artış oranları ..	65
Çizelge 7.2. Çekme testi sonuçları.....	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. SAE 8620 sementasyon çeliğinin sürekli soğutmada zaman-sıcaklık diyagramı [22].	11
Şekil 2.2. SAE 8620 sementasyon çeliğinin izotermik soğutmada zaman-sıcaklık diyagramı [22].	11
Şekil 2.3. SAE 8620 sementasyon çeliğinin sertleşebilirlik bandı [22].	12
Şekil 3.1. Sıfırlı ısıtıl işleminin (azot ortamındaki) sıcaklık-zaman döngüsü [22].	13
Şekil 3.2. Sıfırlı ısıtıl işlem basamağının sıcaklık-zaman diyagramındaki yeri [25].	14
Şekil 3.3. Direkt soğutma metodu ile çalışan kriyojenik işlem sisteminin şematik gösterimi [34].	17
Şekil 3.4. Endirekt soğutma metodu ile çalışan kriyojenik işlem sisteminin şematik gösterimi [34].	19
Şekil 4.1. Kalıntı gerilmesi ölçüm metodları [19].	22
Şekil 4.2. Katman kaldırma esnasında kalıntı gerilmenin yeniden dağılımı [38].	23
Şekil 4.3. Kaldırılmış katman kalınlığının bir fonksiyonu olarak eğilme deformasyonu [19].	24
Şekil 4.4. Elektrokimyasal işleme yönteminin prosesi [37].	26
Şekil 4.5. Uygun bir elektrolit içerisindeki iş parçasına uygulanan elektro kimyasal süreç [35].	27
Şekil 5.1. Çekme testi numunesi ölçüleri	30
Şekil 5.2. Kalıntı gerilmesi deney numunesi ölçüleri	30
Şekil 5.3. Isıl işlem çevrimlerinin şematik özeti.	31
Şekil 5.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı numune üzerindeki şematik konumları.	35
Şekil 5.5. $f(a)$ Fonksiyonunun türev alma düzeni	40
Şekil 5.6. Numuneden tabaka kaldırıldıktan sonraki halinin şekilsel gösterimi [37].	41
Şekil 5.7. Numuneden tabaka kaldırıldıktan sonra kaldırılmış olan katmanın bulunduğu bölgenin geometrisi ve hesaplamada kullanılan birimlerin yerleri [37].	41
Şekil 6.1. N1(3S+YS) numunesi mikrosertlik testi sonucu.	44

Şekil	Sayfa
Şekil 6.2. N2(3S+YS+1T) numunesi mikrosertlik testi sonucu	45
Şekil 6.3. N3(3S+YS+K+1T) numunesi mikrosertlik testi sonucu	45
Şekil 6.4. N4(K+1T) numunesi mikrosertlik testi sonucu.....	46
Şekil 6.5. N5(HN) numunesi mikrosertlik testi sonucu	47
Şekil 6.6. N6(3S+YS+3T) numunesi mikrosertlik testi sonucu	47
Şekil 6.7. N7(3S+YS+K+3T) numunesi mikrosertlik testi sonucu	48
Şekil 6.8. Mikrosertlik sonuçlarının birleştirilmiş hali	50
Şekil 6.9. N1, N2, N3, N6, N7'ye ait Çekme dayanımı testi grafiksel sonuçları	53
Şekil 6.10. N4 ve N5'e ait Çekme dayanımı testi grafiksel sonuçları	54
Şekil 6.11. Çekme testi sonuçlarına göre numunelerin en yüksek değerlerinin karşılaştırma grafiği.....	54
Şekil 6.12. Dakikada kaldırılan katman mesafesi	56
Şekil 6.13. N1(3S+YS) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	57
Şekil 6.14. N2(3S+YS+1T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	57
Şekil 6.15. N3(3S+YS+K+1T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	58
Şekil 6.16. N4(K+1T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	59
Şekil 6.17. N5(HN) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	59
Şekil 6.18. N6(3S+YS+3T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	60
Şekil 6.19. N7(3S+YS+K+3T)'da oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı	61
Şekil 7.1. Vickers mikrosertlik değerlerinin numune yüzeyi ve merkezine göre karşılaştırılması (HV)	69
Şekil 7.2. Çekme testi sonucunda numunelerin akma ve kopma dayanımlarının karşılaştırılması	70
Şekil 7.3. Sementasyon yapılmış parçalarda meydana gelen kalıntı gerilmesi eğrileri [41].	71
Şekil 7.4. Numunelerin kalıntı gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 7.5. Numunelerdeki maksimum çekme ve basma gerilmelerinin karşılaştırılması	73

Şekil	Sayfa
Şekil 7.6. Asi ve arkadaşlarının kalıntı gerilmesi sonuçları [40].	74
Şekil 7.7. Asi ve arkadaşlarının mikrosertlik sonuçları [40].	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Alper ısıtıl işlemde yapılan kriyojenik işlemde çeşitli resimler	18
Resim 5.1. Sementasyon işleminin yapıldığı fırın	32
Resim 5.2. Temperleme işleminin yapıldığı fırın	32
Resim 5.3. Kriyojenik işlemin yapıldığı fırın	33
Resim 5.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı SHIMADZU HMV2 mikro sertlik cihazı	34
Resim 5.5. Çekme testi numunesi	35
Resim 5.6. Çekme testi uygulanan DARTEC marka cihaz	36
Resim 5.7. Katman kaldırma deneyi deney düzeneği ve çalışma ortamı	37
Resim 5.8. Ayarlanabilir DC güç kaynağı	37
Resim 5.9. Numunenin deney öncesi ve sonrasındaki hali	38
Resim 5.10. Katman kaldırma işlemi sonunda numunenin son hali	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
3S	3 Saat sementasyon (900°C)
YS	Yağda soğutma
K	24 Saat kriyojenik işlem (-145°C)
1T	1 Saat temperleme işlemi (230°C)
3T	3 Saat temperleme işlemi (230°C)
N1	1 Numaralı numune
N2	2 Numaralı numune
N3	3 Numaralı numune
N4	4 Numaralı numune
N5	5 Numaralı numune
N6	6 Numaralı numune
N7	7 Numaralı numune
HN	Ham numune (ısıtıl işlem görmemiş)
σ	Kalıntı gerilmesi (MPa)
a	Aşındırılan kısım (mm)
E	Elastikiyet modülü (MPa)
d	Aşındırılan kısmın son çapı (aşınma sonrası) (mm)
d_s	Aşındırılan yüzeyin ilk çapı (aşınma öncesi) (mm)
b	Kaldırılan katman genişliği (mm)
k_y	Düzeltilme katsayısı
l	Kaldırılan katmanın uzunluğu (180° derecelik kısım) (mm)
r	Aşındırılan kısmın yarı çapı (mm)
R_t	Akma dayanımı
R_m	Kopma dayanımı

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Metal Enstitüsü)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Gereçleri Deneme Derneği)
DIN	Deutsches Institut für Normen (Alman Standartları Enstitüsü)
EN	European Standards (Avrupa Standartları)
HRC	Rockwell sertlik birimi
HSS	High Speed Steel (Yüksek hız çeliği)
HV	Vickers sertlik birimi
SAE	Society of Automotive Engineers (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Günümüzde mekanik sistemler aşırı yük ve yüksek hız gibi birçok ağır koşul altında çalıştığından, endüstriyel ve bilimsel çalışmalar, mevcut malzemelerin sınırlarını sürekli genişletme doğrultusunda ilerlemektedir [1]. Bundan dolayı, son yıllarda metalik malzemelerin içyapısı, temel mekanik özellikleri ve kırılma tavırları arasındaki ilişkiler üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır [2].

Endüstride çok önemli yer tutan çeliklerin birçok kullanım alanı vardır. Makina endüstrisinde kullanım performanslarının artırılması, parçaların dış kısımlarının sert ve aşınmalara karşı dirençli, iç kısımlarının ise muhtemel darbelere karşı dayanıklı ve tok olması gereklidir. Çeliklerin içerisindeki karbon miktarı, yüzde olarak belirli bir oranın üzerinde olduğunda, sertleştirilme işleminin sonunda dış ve iç kısımları sert bir yapıya sahip olacağından kullanımı sınırlanmaktadır. Ayrıca, çeliklerde aşınma ve korozyon problemlerinden dolayı önemli miktarda malzeme kayıpları olduğundan, bu probleme karşı alınacak tedbirlerin önemini ortaya koymaktadır [3].

Alternatif çözümlerden birisi yüzey sertleştirmedir. En tanınmış ve en eski bir yüzey sertleştirme yöntemlerinden biri olan sementasyon işlemi ile içerisinde % 0,1-0,25 C bulunan alaşımsız ve çok alaşımlı çeliklere uygulanır. Yüzeyleri karbonca zenginleştirildikten sonra yapılan yüzey sertleştirme işlemi ile istenilen amaca uygun malzemelerin üretimi mümkündür [3].

Genellikle sementasyon uygulanan çeliklerin çekirdekteki mikroyapısı ferritik ve perlitik yapıdan oluşmaktadır. Yüzeyden iç bölgeye doğru sertlik değerleri arasındaki aşırı farklar, kullanım sırasında çeliğin yumuşak kısmında çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu olumsuzluk, değişik oranlarda çeşitli alaşım elementleri içeren çeliklerin kademeli olarak sertleştirilmesi ile önlenmektedir. Mikroyapı incelemeleri, çeliğin kullanımı sırasında en uygun performansı sağlayabilecek sementasyon işleminin yapılacağı hususunda kılavuzluk eder. Bu işlem ile tane büyüklükleri veya incelmeleri, oluşabilecek çatlak ve kırılmaların belirlenmesi açısından önemlidir. Sementasyon edilmiş malzemelerin mikroyapılarının yorulma dayanımlarına ve dolayısıyla malzemelerin kullanım ömrüne etki ettiği belirtilmektedir [4].

Sementasyon ve sertleştirme işlemleri sonunda tamamen martensite dönüşmeden yapıda kalan östenit fazı, kalıntı östenit olarak bilinir. Dolayısıyla sementasyon ve sertleştirme yapılmış çeliklerin mikroyapıları, büyük ölçüde temperlenmiş martensit ve kalıntı östenitten meydana gelmektedir. Isıl işlemden sonra parçanın kullanımı sırasında çeşitli mekanik etkilerle martensite dönüşen kalıntı östenit, gevrekliği arttırıcı bir faktör olarak mekanik özellikleri büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Genellikle ısıl işlem uygulanmış halde kullanıma sunulan alaşımlı çeliklerde, ısıl işlemin bir kademesi olarak uygulanan sıfırlıtı işlemi, kalıntı östenit hacim oranını azaltıcı ve bu sayede malzemenin mikroyapısal özelliklerini önemli ölçüde etkileyici bir işlem olarak bilinmektedir. Sıfırlıtı işlemi, esas olarak malzemenin sertleştirme sonrası soğutulması, bu ortamda malzemenin tamamında östenitin martensite dönüşmesine yetecek bir süre tutulması ve daha sonra bu ortamdan çıkarılarak oda sıcaklığına ısıtılması kademelerini içerir. İşlem sonunda malzemeye temperleme işlemi uygulanabilmektedir. Konvansiyonel yöntemlerle yapılan sıfırlıtı işlemler, -100°C 'den düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmekte ve bu sıcaklığın su verilen bir çelikte östenitin tamamen martensite dönüşmesini sağladığı kabul edilmektedir [5].

Son yıllarda malzeme bilimciler ve mühendisler, mühendislik malzemelerinin yüzeyinde basma kalıntı gerilmeleri oluşturarak, metallerin darbe özelliklerini ve yorulma ömrünü artırmak için çaba harcadılar. Kalıntı gerilmeler ısı değişimi ve dış kuvvetler gibi gerilmeye sebep olan faktörler kaldırıldıktan sonra, malzemenin içinde kalan gerilmelerdir. Kalıntı gerilmeler, soğuk şekillendirme esnasındaki düzensiz plastik deformasyon, bilyalı yüzey dövme, çekiçle yüzey dövme, kaynak, taşlama, faz dönüşümleri ve yüksek sıcaklık dönüşümleriyle oluşurlar. Çeliklerde kalıntı gerilmelerin bilinmesi parça tasarımı için büyük önem arz eder ve sadece malzemelerin yorulma dayanımının değil, aynı zamanda boyutsal kararlılığın iyileşmesini sağlar [6].

Bu tez çalışmasındaki ana konulardan, sementasyon, kriyojenik işlem ve kalıntı gerilmeleri hakkındaki çalışmalardan bize kaynak oluşturan literatür çalışmaları şöyledir;

Asi çalışmasında, SAE 8620 (21NiCrMo2) sementasyon çeliğinde, sementasyon işlemleri sonucunda meydana gelen kalıntı östenit miktarlarını incelemiştir. Sementasyon işlemleri gaz atmosferinde 940°C 'de yapılmıştır. Numunelerin kalıntı östenit miktarları X-ışını kırınımı metoduyla tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, 940°C 'de 45 dakika, 3 saat ve 5

saat sementasyon işlemi yapılan numunelerin mikroyapısında meydana gelen maksimum kalıntı östenit miktarları, sırasıyla %35.8, %19.4 ve %15 olarak bulunmuştur [7].

Uluğ ve arkadaşları, asetilen ortamında sementasyon yapıldıktan sonra yağda su verilerek sertleştirilen 8620 kalite çeliğe uygulanan sıfırlıtı işleminin ve temperlemenin, mikroyapı, kalıntı östenit hacim oranı, sertlik, darbe direnci ve aşınma direncine etkilerini incelemişlerdir. Sementasyon ve sertleştirme işlemlerinden sonra 8620 kalite çeliğin yapısındaki kalıntı östenit hacim oranı %16 olarak belirlenmiştir. Sertleştirme sonrası uygulanan sıfırlıtı işlem, kalıntı östenit hacim oranını %38 oranında, ısıl işlemin son kademesi olarak uygulanan temperleme ise %40 oranında azaltmıştır. Sıfırlıtı işlem, sertlik ve darbe direncinde önemli bir değişime neden olmamış, ancak temperleme ile sertlik, sertleştirilmiş duruma göre %8 oranında, çentikli ve çentiksiz darbe direnci ise yaklaşık %2 oranında azalmıştır. 8620 kalite çelikte sıfırlıtı işlem ve temperleme işlemi sonrasında elde edilen relatif aşınma direnci, sertleştirme sonrası elde edilen aşınma direncine göre sırasıyla %70 ve %80 oranında azaldığı görülmüştür[5].

Paul ve Chattopadhyay, hem deneysel hem de analitik olarak yaygın kullanılan beş çelik için bölgesel taşlama sıcaklığı üzerine kriyojenik soğutmanın etkisini araştırmıştır. Kriyojenik soğutma etkinliğinin deneysel çalışmalar boyunca önem arz ettiğini sonucuna varmıştır [8].

Baldissera ve Delprete, ticari sementasyon dişli çeliğinin (18NiCrMo5) statik mekanik özellikleri üzerine derin kriyojenik prosesin etkisi optik fraktografi gözlemlerini izleyen sertlik ve çekme deneyleri aracılığıyla araştırmışlardır. Bu çalışma, konvansiyonel sementasyondan sonra gerçekleştirilen derin kriyojenik proses ve temperlemenin farklı sıralarıyla elde edilen sonuçları arasında karşılaştırma yapmaya odaklanmıştır. İlave olarak, bekletme zamanı etkisi, ön temperleme ve derin kriyojenik proses durumu için analiz edilmiştir. Yanlış çözümlemelerden kaçınmak için deneysel verilerin istatistikî analizine özel önem verilmiştir. Sonuçlar tüm kriyojenik proses uygulanmış gruplar için önemli sertlik artışları (+0,6 HRC'den +2,4 HRC'ye kadar) ve farklı sıraları gösteren bir durumda dikkate değer çekme dayanımı artışı (%+11) göstermiştir [9].

Bensely ve arkadaşları, aşınma ve çatlaklardan dolayı ayna ve pinyon dişlinin sık gözlenen başarısızlığı nedeniyle kriyojenik işlemin, sementasyon çeliğinin (EN 353) aşınma direnci

üzerine etkisini araştırmıştır. ASTM standardına göre yağlama olmadan pin-on-disk aşınma deneyi ile ilgilenmektedir. Deney, konvansiyonel ısıtma işlemi, sıg kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere üç farklı işlem şartlarına maruz kalan numuneler için üç farklı yükleme şartlarında ve yedi kayma hızında yapılmıştır. Aşınma direnci sıg kriyojenik işleminden dolayı, dikkate değer bir şekilde artmış ve konvansiyonel ısıtma işlemle karşılaştırıldığında, derin kriyojenik işlem, aşınma direncinde daha çok iyileşme sağlamıştır. Sonuç olarak üç işlem arasında en tavsiye edilen derin kriyojenik işlem olduğu kanaatine varmışlardır. Derin ve sıg kriyojenik işlem konvansiyonel ısıtma işlemi ile karşılaştırıldığında daha fazla aşınma direnci sağlamıştır. Konvansiyonel ısıtma işlemi üzerine sıg kriyojenik işlem %85, derin kriyojenik işlem ise %372 daha fazla aşınma direnci sağlamıştır. Aynı zamanda sıg kriyojenik işlem üzerine derin kriyojenik işlem %152 daha iyi aşınma direnci sağlamıştır. Aşınmanın sabit kayma hızlarında yükler ile ve sabit yüklerdeki kayma hızları ile lineer olarak arttığı bulunmuştur. Düşük kayma hızlarında (1,944 ve 2,361 m/s) bütün bu üç süreç aşınma kaybı çok küçüktür (0,6-6mg aralığında) ve yüksek kayma hızlarında aşınma kaybı önemli ölçüde değişmektedir. Sıg ve derin kriyojenik işlem uygulanmış numuneler arasındaki sertlik değeri aynı olmasına rağmen sıg kriyojenik işlem uygulanmış numunelerle karşılaştırıldığında derin kriyojenik işlem uygulanmış numuneleri aşınma direnci daha yüksektir. Bunun nedeni ise karbürlerin çökmesi ve daha iyi dağılımı olduğunu düşünmektedirler [10].

Bensely ve arkadaşları, sementasyon çeliklerinin yorulma ve kırılma davranışlarını daha iyi anlayabilmek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Konvansiyonel ısıtma işlemi, sıg kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere üç farklı işleme tabi tutulduktan sonra, 107 çevrimde başarısızlık tabanlı EN 353 çeliğinin yorulma mukavemeti çalışılmıştır. Tüm numuneler için oda sıcaklığında dönen eğilme gerilmeli yorulma deneyi yapılmıştır. Kırılan numune yüzeyleri, yorulma esnasında ortaya çıkan mekanizmaları tanımlamak için tarayıcı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Sıg ve derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin, konvansiyonel ısıtma işlemi uygulanmış numunelere göre tüm yorulma ömründe sırasıyla %71 iyileşme ve %26 azalma gözlenmiştir. Kalıntı östenitin ve iyi karbürlerin birleşik bulunması, sıg kriyojenik proses uygulanmış numunelerin, konvansiyonel ısıtma işlemi ve derin kriyojenik proses uygulanmış numunelere göre daha iyi bir yorulma mukavemetine sahip olmasına neden olmuştur [11].

Baldissera ve Fatigue, 18NiCrMo5 sementasyon çeliğinin statik mekanik özellikleri üzerine derin kriyojenik prosesin etkilerini analiz ettikten sonra, bu malzemenin yorulma davranışı üzerine derin kriyojenik işlemin etkileri, deneysel merdiven testleri ve takiben tarayıcı elektron mikroskobu fraktografik gözlemleri aracılığıyla araştırılmıştır. Konvansiyonel sementasyondan sonra yapılacak derin kriyojenik işlem ve temperlemenin farklı sıraları arasında karşılaştırma yapmak amaçlanmıştır. Bekletme zamanı parametresinin iki düzeyi, etkisini analiz etmek için ön temperlenen derin kriyojenik işlem durumu için düşünülmüştür. Deneysel verinin dikkatli bir istatistiki analizi yapılmış ve SNP eğrileri en yüksek olabilirlik metodu kullanılarak çizilmiştir. Literatürde sık bir şekilde bildirilen karbür değişimine sebep olan derin kriyojenik işlem ile uygun olan veri dağıtıcıda genel dikkat çekici bir azalma ile bütün kriyojenik işlem uygulanmış gruplar için yorulma davranışı üzerine önemli bir etki gözlemlenmiştir. Ön temperlenen derin kriyojenik işlem durumunda, yorulma ömründe genel bir kayba neden olan kalıntı gerilme durumunu içeren diğer bazı değişiklikler iyileşmeleri dengelerken, son temperlenen derin kriyojenik işlemin, daha güvenilir olduğunu belirtilmiştir [12].

Fredj ve Sidhom, soğutma ortamının gelişmesine katkıda bulunmak için AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzey kalitesi üzerine yararlı etkileri ve yorulma dayanımını araştırmıştır. Sonuç olarak kriyojenik soğutma uygulanan taşlama işlemi ile yağ kökenli soğutma sıvısı ile yapılan taşlama işleminden daha düşük pürüzlülüğe, daha az kusura, daha yüksek iş parçası sertliğine ve daha az çekme kalıntı gerilmesine sahip yüzeyler elde edilmiştir [13].

Fredj ve arkadaşları, kriyojenik işlem uygulaması ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzey kalitesi iyileştirmeyi değerlendirmiştir. Değerlendirme, taşlanabilirlik, yüzey tamlığı ve korozyon direnci karakterizasyonu ile ilişkili kriterler tabanlıdır. Hemen hemen sabit talaş miktarındaki taşlama deneyleri üç farklı ortamda yapılmıştır: kuru, çözülebilir yağ ve kriyojenik işlem. Taşlanabilirlik sonuçlarında, kriyojenik işlem en düşük taşlama sıcaklığını üretirken, spesifik taşlama kuvvet elemanları üzerine önemli farklar gözlenmemiştir. Bununla birlikte, yüzey tamlığı olarak azımsanmayacak iyileşmeler gerçekleşmiştir. Kriyojenik işlemi kullanarak yüzey pürüzlülüğünde %40'tan daha fazla bir iyileşme gerçekleştirmişlerdir. Yüksek bir düzey iş parçası sertleşmesi ortaya çıkmıştır. Daha düşük çekme kalıntı gerilmesi ölçülmüş ve gerilim korozyon kırılması ve çukur aşınmaya karşı daha iyi direnç elde edilmiştir [14].

Firouzdor ve arkadaşları, karbonlu çeliklerin yüksek hızlarda kuru delme şartlarında M2 HSS matkapların, aşınma direnci ve takım ömrü üzerine derin kriyojenik işlemin etkisini araştırmıştır. Deneysel sonuçlar, kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem ve sonrasında ısıtıl işlem uygulanmış matkap ömürlerinde sırasıyla, %77 ve %126 iyileşme göstermiştir. Aşınma oranı test sonuçları matkap ömrü testi ile uyumludur. Talaşların kimyasal analizi ve SEM analizi gözlemleri sonucunda, difüzyon aşınması baskın aşınma mekanizması olarak saptanmıştır. Aşınma direnci iyileşmesi, başlıca kriyojenik işlem esnasında iyi ve homojen karbür partiküllerinin şekillenmesinden dolayı difüzyon aşınma mekanizmasına karşı kriyojenik işlem uygulanmış matkapların direncine atfedilmiştir. İlave olarak kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi etkin rol oynamıştır [15].

Paul ve Chattopadhyay, farklı çelik numuneleri kuru, çözülebilir yağ ve sıvı nitrojen püskürtme şartları altında kullanılmıştır. Kuru ve çözülebilir yağlı taşlama ile karşılaştırıldığında, kriyojenik işlem taşlamada spesifik enerji gereksinimi, kalıntı gerilmelerinde azalma ve talaş oluşumunda önemli iyileşmeler gözlemlenmiştir [16].

Paul ve Chattopadhyay, kriyojenik işlem kullanıldığında, taşlama kuvvetleri, spesifik enerji, bölgesel taşlama sıcaklığı ve yüzey kalıntı gerilmeleri bakımından elde edilen sonuçları tartışmakta ve kuru taşlama ve çözülebilir yağ ile taşlamadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmaktadır. Kriyojenik soğutma sıcaklığı, kalıntı gerilmelerini ve taşlama kuvvetlerini kontrol etme bakımından diğer soğutuculara göre avantajlı ve aynı zamanda çevre dostu olduğunu düşünmektedirler [17].

Bensely ve arkadaşları, X ışını kırınımı tekniği kullanılarak sementasyon çeliklerinde (EN 353) kalıntı gerilmelerinin dağılımı üzerine kriyojenik işlemin etkisi araştırılmıştır. Konvansiyonel ısıtıl işleme ilave olarak sığ kriyojenik işlem (-80 C°) ve derin kriyojenik işlem (-196 C°) olmak üzere iki tip kriyojenik işlem benimsenmiştir. Konvansiyonel ısıtıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işleme tabi tutulan numunelerde kalıntı östenit miktarı sırasıyla, %28, %22 ve %14 olarak bulunmuştur. Temperlenmemiş şartlarda konvansiyonel ısıtıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işleme tabi tutulan numuneler sırasıyla, -125 MPa, -115 MPa ve -235 MPa yüzey kalıntı gerilmelerine sahiptir. Temperlemeden sonra konvansiyonel ısıtıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işleme tabi tutulan numuneler sırasıyla, -150 MPa, -80 MPa ve -80 MPa yüzey kalıntı gerilmelerine sahip oluşturmıştır. Üç işlemin karşılaştırmalı sonuçları, temperlemeden

önce kriyojenik işleme tabi tutulan çelikte basınçlı yüzey gerilmelerinde bir artış olduğunu göstermiştir. Derin kriyojenik işleme tabi tutulan çelik, temperlemeye maruz kaldığında basınçlı kalıntı gerilmelerinde bir azalma olduğunu deneysel sonuçlar göstermiştir [18].

Kafkas, talaş kaldırarak vida açma, kanal açma ve düz tornalama işlemleri neticesinde meydana gelen kalıntı gerilmelerin deneysel olarak belirlenmesini, bu işlemlerin oluşturduğu kalıntı gerilmelerin karşılaştırılmasını ve tornalama işlemlerinde kullanılan parametrelerin kalıntı gerilmeler üzerine olan etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla, değişik işleme parametreleri kullanılarak, AISI 4140 ve AISI 4340 malzemeler üzerinde farklı tornalama işlemleri yapılmış ve kalıntı gerilmeler üzerine işleme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Kalıntı gerilmeler katman kaldırma metodu kullanılarak belirlenmiştir. Katmanların seri olarak kaldırılması, elektrokimyasal işleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Farklı tornalama işlemleri neticesinde meydana gelen kalıntı gerilmelerin yüzeyden olan derinliğe bağlı değişim grafikleri oluşturulmuştur. Kalıntı gerilim değişim grafiklerinden elde edilen temel kalıntı gerilme sınırları işleme parametrelerinin etkisini incelemek için kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, talaş kaldırma işleminde kalıntı gerilmelerin mekanik ve ısı etkilerden meydana geldiği tespit edilmiştir. Isıl etkileri artıran tüm işleme parametrelerinin çekme kalıntı gerilmelerini, plastik deformasyonu arttıran parametrelerin ise basma kalıntı gerilmelerini oluşturduğu gözlenmiştir. Vida açma, kanal açma ve düz tornalama işlemlerinde kesme biçiminin farklı talaş oluşumu meydana getirdiği ve kalıntı gerilmeleri etkileyen en önemli faktörün talaş oluşumunun farklılığından kaynaklandığı tespit edilmiştir [19].

Subaşı ve arkadaşları, AISI 4140 çeliği tornalandıktan sonra yağda 40, 45, 50 HRC değerlerinde sertleştirilmiş numunelerdeki kalıntı gerilme değerleri belirlenmiş ve hiç sertleştirilmemiş numunelerle karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 40, 45, 50 HRC değerlerinde sertleştirilmiş numunelerin yüzeylerinde sırasıyla 169, 299, 203 MPa çekme kalıntı gerilmesi olduğu, buna karşılık sertleştirilmemiş numune yüzeyinde ise 211 MPa çekme kalıntı gerilmesi olduğu tespit edilmiştir. Sertleştirilmenin malzeme yüzeyinde çekme kalıntı gerilmesi oluşturduğu, sertliğe göre değerinin değiştiği ve mekaniksel kaynaklı gerilmelerin termal kaynaklı gerilmelere göre daha baskın olduğu görülmüştür [20].

Yiğit ve arkadaşları, kalıntı gerilmeler hakkında bilgi vererek, bu gerilmelerin nasıl ve hangi işlemler sonucu olduğu, parçanın performansı üzerindeki etkileri ve neden

ölçülmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Kalıntı gerilme ölçme yöntemleri karşılaştırmalı olarak anlatılmış ve çalıştıkları EDM (Elektro erozyonla işleme) ile işlenmiş parçalarda oluşan kalıntı gerilmeleri ölçmek için en uygun mekanik yöntemlerden birisi olan tabaka kaldırma yöntemi detaylıca incelenerek diğer yöntemlere göre üstünlükleri açıklanmıştır [21].

2. SEMENTASYON ÇELİKLERİ

Sementasyonla sertleştirme işlemi makine yapımında yüzey sertliğinde, aşınma dayanımında ve sürekli dayanımda artma yaptığı gibi, çekirdek dayanımını ve sünekliliği iyileştirdiği için çok yaygın olarak kullanılır. Böylece, büyük kuvvetler taşınabilir ve darbe tarzındaki yükler kırılma olmadan karşılanabilir. Soğuk oyma ile işlenen ve çok iyi talaşsız şekillendirme gerektiren duromer ve benzeri plastik malzemeler için pres kalıbı gibi belirli kalıplarda da sementasyonla sertleştirme yapılmaktadır [22].

Sementasyon çeliklerinde karbon miktarı, genel olarak % 0,10 ilâ 0,20 arasındadır, ancak bazı türlerde ortalama % 0,25'e kadar çıkabilmektedir. Alaşımsız ya da düşük alaşımlı olabilirler. Alaşımsız olanlar kaliteli çelik (P ve S, her biri max % 0,045) ve asal çelik (P ve S, her biri max % 0,035) olarak üretilirler. Yeni geliştirilen alaşımsız Cm15 çeliğinde ve bazı alaşımlı çeliklerde, talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için kükürt miktarı % 0,020 ile 0,035 arasında olacak şekilde düzenleme getirilmiştir (Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4) [22].

Alaşımlı sementasyon çelikleri, Cr'lu, MnCr'lu, MoCr'lu ve CrNi'li olmak üzere gruplara ayrılabilir. Sünekliliği ve çekme dayanımı iyi olan MCr'lu çelikler, TS ve DIN standartlarından çıkarılmıştır [22].

Ancak bu gruplara ilave olarak, ülkemizde özellikle dişli yapımında çok kullanılan yüksek dayanımlı 21NiCrMo2 (1.6523 yada SAE 8620) çeliği, TS 2850'de (Ekim 1977) korunmuştur (TS 2850 yerine geçen standart TS EN 10084 29.04.2010). 21 NiCrMo2 çeliği, çok fazla zorlanan, makine ve otomobillerde dişli çark, pim, mil, şalter kovani ve benzeri parçalarda kullanılmaktadır. Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de TS 2850'ye göre SAE 8620 sementasyon çeliği ve bileşimleri verilmiştir (Çizelge 2.1, Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3) [22].

Çizelge 2.1. SAE 8620 sementasyon çeliğinin diğer ülke standartlarında yaklaşık karşılıkları

Türkiye TS 2850	Almanya DIN 17210		Fransa	İngiltere	İtalya	Japonya	Amerika Birleşik Devletleri
MKE	Malz. No	Sembol	AFNOR	B.S.	UNI	JIS	AISI/SAE
Ç 8620	1.6523	21NiCrMo2	20 NCD 2	805 M 20	20NiCrMo2	SNM 220(H)	8620

Çizelge 2.2. SAE 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal bileşimi

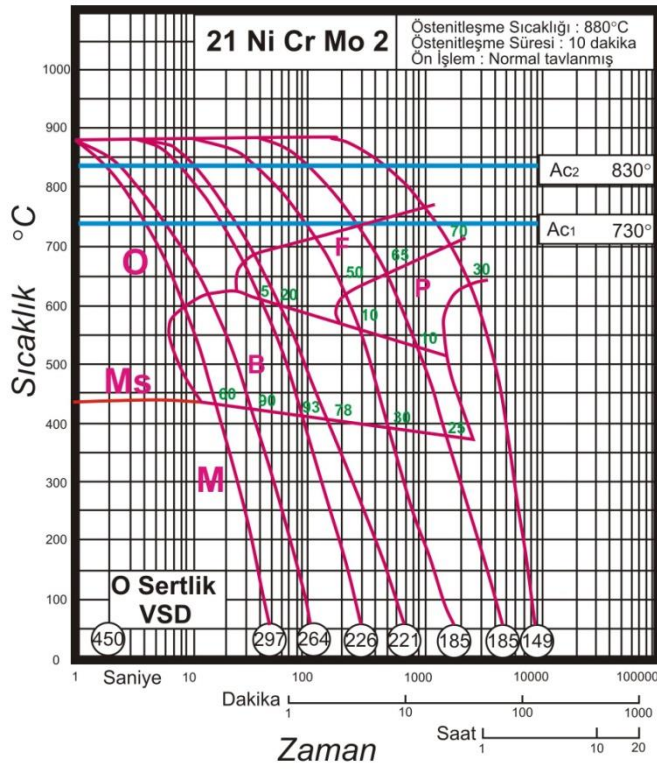
KİMYASAL BİLEŞİM (% Ağırlık)							
C	Si	Mn	P _{MAX}	S _{MAX}	Cr	Mo	Ni
0,18...0,23	0,20...0,35	0,70...0,90	0,040	0,040	0,40...0,60	0,15...0,25	0,40...0,70

Çizelge 2.3. SAE 8620 Sementasyon çeliğinin mekanik özellikleri (Sementasyon ve sertleşmeden sonra)

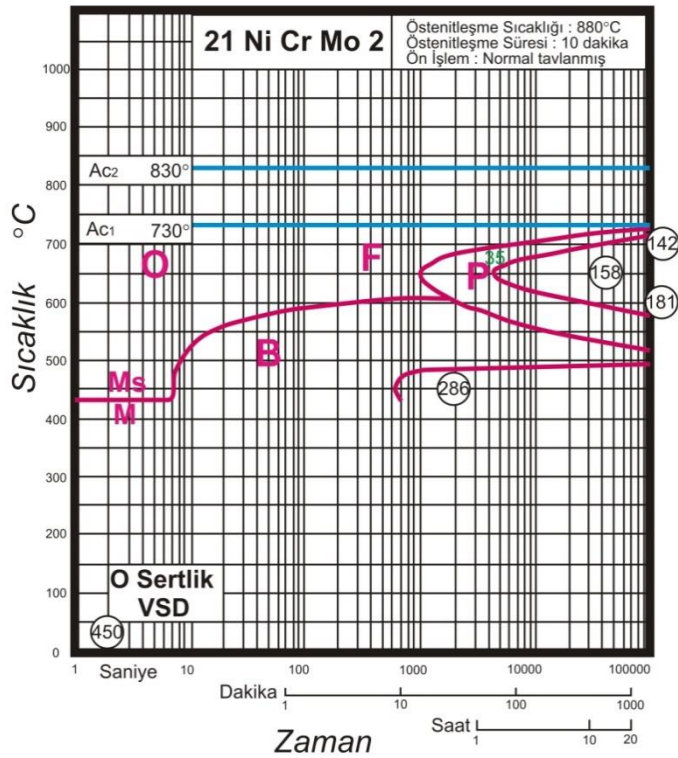
Malzeme Temininde			Yumuşak tavlı			Brinell Sertliği BSD 30			≤			235		
			Belirli dayanım değeri için ısıt işlemlı									187...235		
			Belirli yapı durumu için ısıt işlemi									170...217		
Sementasyon ve Sertleşmeden Sonra														
Akma Sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması			Kesit Daralması			Çentik Darbe İşı		
Rt			Rm			A L ₀ = 5d ₀			Z			(DVM)		
Ø11 mm	Ø30 mm	Ø63 mm	Ø11 mm	Ø30 mm	Ø63 mm	Ø11 mm	Ø30 mm	Ø63 mm	Ø11 mm	Ø30 mm	Ø63 mm	Ø11 mm	Ø30 mm	
≥ MPa			MPa			≥%			≥%			≥%		
835	785	685	1230 : 1470	1180 : 1420	1080 : 1320	7	8	8	30	35	35	41	41	

Çizelge 2.4. SAE 8620 sementasyon çeliğinin ısıtıl işlem koşulları

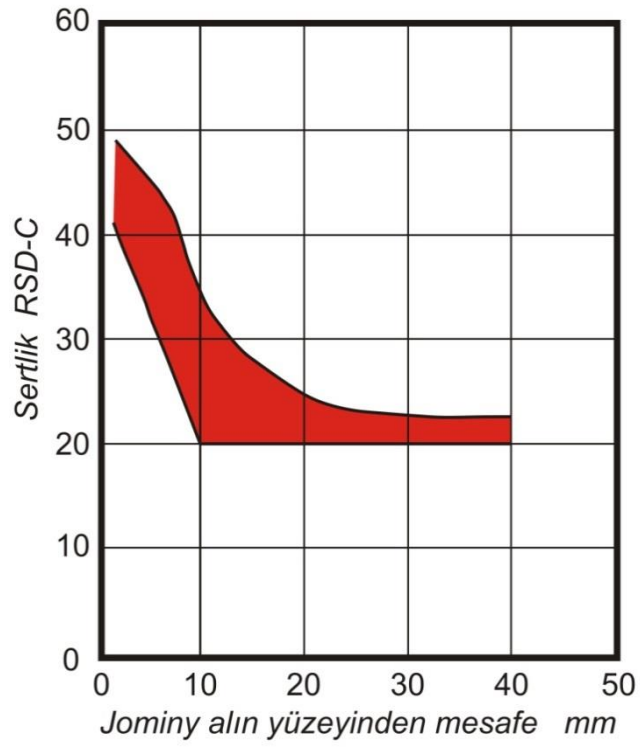
Sementasyon İşlemi Tarzı			Sementasyon Sıcaklığı	Sementasyondan sonra Soğutma ortamı					
Direkt Sertleştirme	Basit Sertleştirme	Çift Sertleştirme		Su	Yağ	Sıcak Banyo	Tuz Banyo	Sement. Kutusu	Hava
°C									
*	*	-	900 : 950	-	*	*	-	*	*
			Çekirdek Sertleştirme Sıcaklığı	Ara Tavlama Sıcaklığı	Cidar Sertleştirme				Meneviş Sıcaklığı En az 1 saat
			°C	°C	°C	Su	Yağ	Sıcak Banyo	°C
			840 : 870	630 : 650	800 : 830	(*)	*	*	170 : 210



Şekil 2.1. SAE 8620 sementasyon çeliğinin sürekli soğutmada zaman-sıcaklık diyagramı [22].



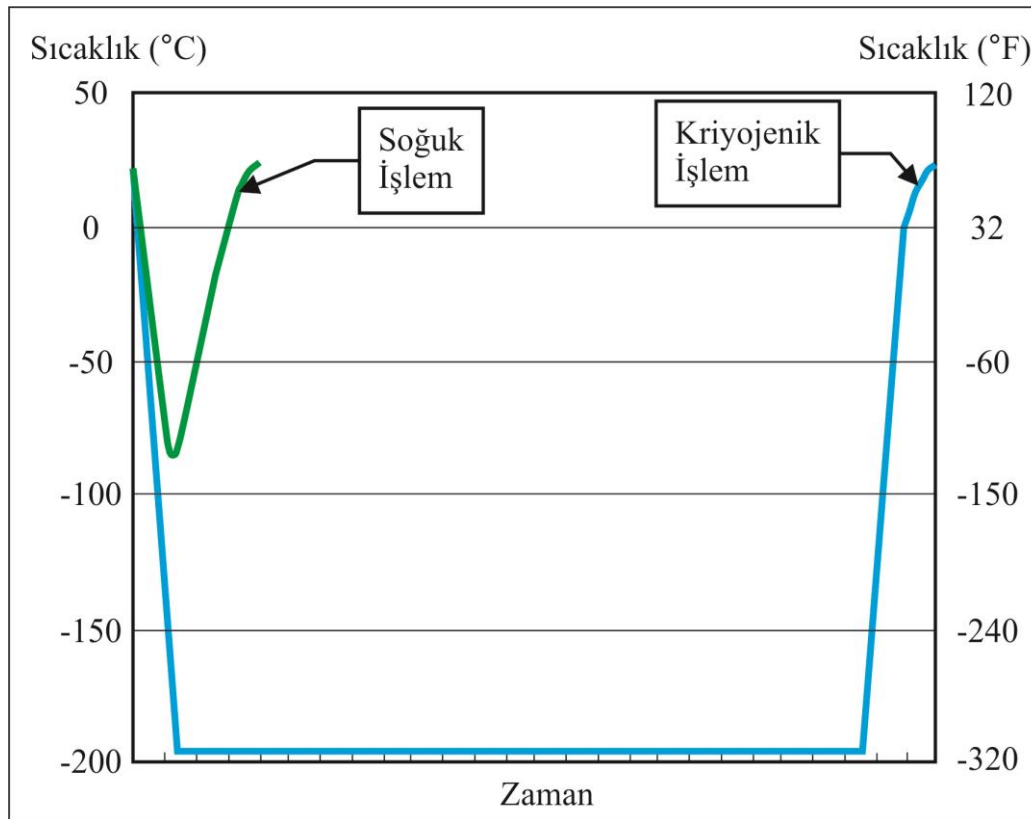
Şekil 2.2. SAE 8620 sementasyon çeliğinin izotermik soğutmada zaman-sıcaklık diyagramı [22].



Şekil 2.3. SAE 8620 sementasyon çeliğinin sertleşebilirlik bandı [22].

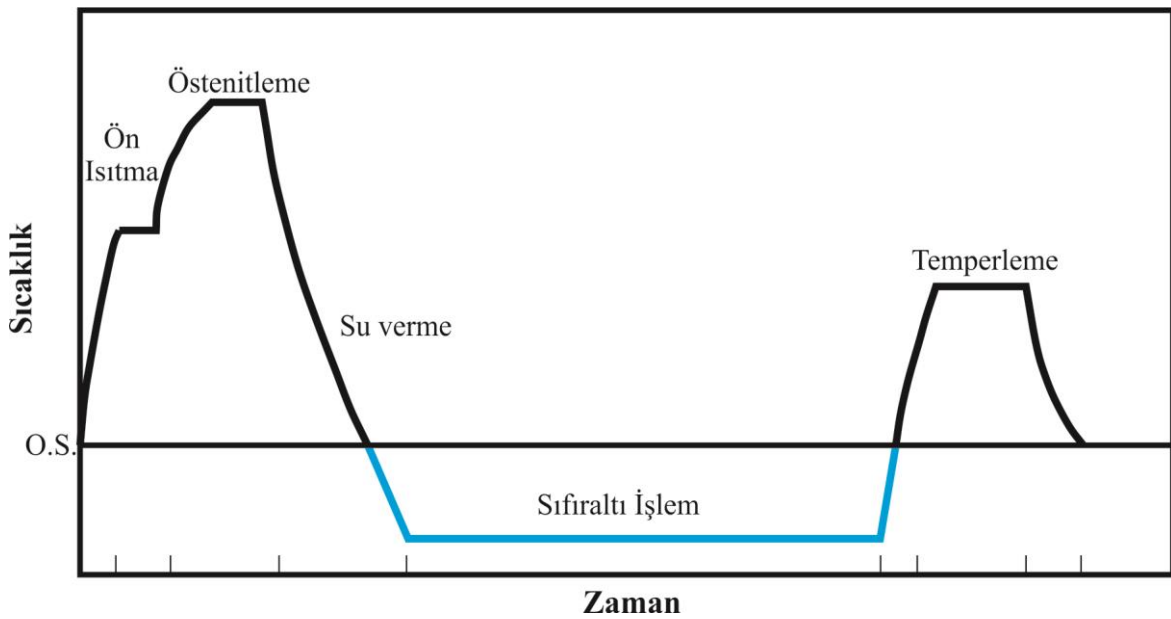
3. SIFIRALTI İŞLEM

Sıfırtı işlem (kriyojenik), düşük sıcaklıkların üretilmesi ve bu sıcaklıklarda malzeme davranışlarını inceleyen bilim dalıdır [23]. Kriyojenik işlem, genellikle yüksek aşınmaya maruz kalan malzemelerde aşınma direncini artırma amacıyla uygulanan ısıl işlemi tamamlayıcı sıfırtı işlem olarak da bilinmektedir. Kaplamaların aksine parçanın tüm bölümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Kriyojenik işlem, malzeme üzerindeki uygulama sıcaklıklarına bağlı olarak sığ kriyojenik işlem (-50 ile -80°C arasında) ve derin kriyojenik işlem (-125°C'den daha düşük sıcaklıklar) olarak sınıflandırılmaktadır. Isıl işlem sonrası malzemeler sığ ya da derin kriyojenik işlem sıcaklıklarında belirlenen bir bekletme süresinde tutularak oda sıcaklığına kadar kademeli olarak getirilmektedir. Bu yöntem ile geleneksel ısıl işlem uygulanmış malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martensite dönüşmesi, ince karbür çökeltilerinin oluşumu ve homojen karbür dağılımı sağlanmaktadır. Böylece malzemelerin sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler elde edilmektedir [24]. Şekil 2.1'de sıfırtı işlemin sıcaklık-zaman döngü grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sıfırtı ısıl işleminin (azot ortamındaki) sıcaklık-zaman döngüsü [22]

Sıfırtaltı işlem sıcaklığına 2,5~5 °C/dakika gibi bir soğutma hızıyla inilmelidir. Yüksek kesitli parçalarda da soğutma sırasında termal hasar oluşumunu engellemek için sıcaklığın belli bir ara değere düşürülerek orada parça sıcaklığının homojen olmasını beklemek ve soğutmaya bundan sonra devam etmek gerekmektedir. Akabinde malzemeden istenen özelliklerine göre belirlenen bekleme süresi ve işlem sıcaklığında sıfırtaltı işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3.2’de sıfırtaltı ısıl işleminin konvansiyonel ısıl işlem döngüsüne ilave olarak uygulandığı yer gösterilmiştir [25].



Şekil 3.2. Sıfırtaltı ısıl işlem basamağının sıcaklık-zaman diyagramındaki yeri [25].

3.1. Kriyojeni ve Kriyojenik İşlem

Kriyojeni, düşük sıcaklıkların üretilmesi ve bu sıcaklıklarda malzeme davranışlarını inceleyen bilim dalıdır [23]. Soğutmanın bittiği kriyojeniğin başladığı sıcaklık noktasını Kolorado, Boulder'daki Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü çalışanları -180°C'nin (93.15K) altındaki sıcaklıkları faaliyet alanı olarak belirlemişlerdir [26].

Endüstrinin kriyojenik işleme ilgisi, 1950'li yıllarda ilk uzay programı ve bu uzay programının takım üreticilerini teşvik etmesi ile başlamıştır. Başlangıçta bu firmalar kriyojenik işlemi, takımları sıvı azot içerisine daldırmak suretiyle denemişlerdir; ancak bu yöntem takımların termal şoklar sonucu zarar görmesi ile sonuçlanmıştır. Dolayısıyla, termal şok olasılığını azaltmak için programlanabilir sıcaklık denetleyicilerini, sıvı azot

akışını kontrol etmek için bir selenoid valfi ve iş parçası sıcaklığını görüntülemek için bir ısı çifti de içeren daha etkili ve kontrollü sistemler geliştirilmiştir [27].

Günümüzde kriyojenik işlemde, düşük sıcaklık kademesinin (-80 ve daha düşük sıcaklıklar) oluşturulmasını ve kullanımını kapsamaktadır. Bu düşük sıcaklıklar; oksijen, hidrojen, helyum, argon ve azot gibi gazların sıvılaştırılmasında da kullanıldığından günümüzde kriyojenik kavramı “kriyojenik mühendisliği” olarak yaygınlaşmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan kriyojenik sıvılar ve atmosferik buharlaşma sıcaklıkları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir [28].

Çizelge 3.1. Kriyojenik sıvılar ve atmosferik buharlaşma sıcaklıkları

R702 Hidrojen	-253 °C	20 K
R729 Hava	-192 °C	81 K
R704 Helyum	-270 °C	3 K
R270 Neon	-246 °C	27 K
R732 Oksijen	-183 °C	90 K
R728 Azot	-196 °C	77 K

Kriyojenik işlem bir kez yapılan kalıcı bir işlemdir ve genellikle konvansiyonel ısıl işlemin sonunda fakat menevişlemeden önce yapılan malzemenin tüm kesitini etkileyen bir işlemdir. Aynı zamanda ısıl işlemin yerini alacak bir işlem olmayıp, konvansiyonel ısıl işlemi tamamlayıcı bir işlemdir. İmalat sektöründe kriyojenik işlem, üretilecek parçalar için düzenli ısıl işlem çevrimlerine henüz eklenmemiştir [29].

Kısacası kriyojenik işlem ısıl işleme benzer bir yöntemdir. Bilgisayar kontrollü ısıl işlem fırınlarında numuneler, -196 C°'ye kadar termal mikro çatlakların oluşumundan kaçınmak için belirli bir soğutma hızında (0,5 °C/dak) soğutulmakta ve ardından bir süre (ortalama 24 saat) bu sıcaklıkta bekletildikten sonra yavaşça oda sıcaklığına getirilmektedir [30]. Kriyojenik işlem çok değişik parçalara, örneğin kesici takımlar, yüksek aşınmaya maruz kalan çeliklere, yarış otomobili motorları gibi parçalara uygulanabilmektedir. Sadece yüzeysel bir işlem olan kaplamaların ve yüzey sertleştirmenin aksine kriyojenik işlem takım çekirdeğine ulaşarak malzemenin tamamına etki etmektedir. Malzemelerin çalışma

ömürlerinin % 60 oranında arttırma ve aşınma direncine etkisi olmaktadır [31]. Bununla birlikte Amerika, Çin ve diğer gelişmiş ülkelerdeki birtakım uzay, otomotiv ve elektronik sanayiler, rakipleri üzerine üstünlük sağlamak ve parçaların aşınma direncini ve boyutsal kararlılığını iyileştirmek için üretim hattına bu işlemi entegre etmişlerdir [29].

Kriyojenik işlemin amacını anlayabilmek ve yorumlayabilmek için, öncelikle konvansiyonel ısı işlem ile olan ilişkisinin iyi kurulması gerekir. Östenitin martenzite dönüşümü, süreden bağımsız tamamen sıcaklığa bağlı bir süreçtir. İşte bu noktadan yola çıkarak kriyojenik işlem sayesinde parçalar, su verme sürecini takiben sıcaklığının altına kadar soğutulabilmektedir. Bu sayede kalıntı östenitin neredeyse tamamı martenzite dönüştürülebilmektedir [25].

Kriyojenik işlem, yeni olduğu gibi kullanılmış, eski malzemelere de kolaylıkla uygulanabilmektedir. Malzemelerin yeniden işlenmesi kriyojenik işlemi etkilememektedir. İşlem, titanyum ve diğer metal malzemelerde aynı zamanda boyutsal kararlılığı da geliştirmektedir ve hatta kalaylama ve krom kaplama gibi yüzey koruma yöntemleriyle eşdeğer performans sergilemektedir. Yüksek yüzey gerilimine sahip alüminyumun, kriyojenik ıslah işleminden sonra ölçüleri değişmemektedir. Bu işlem aynı zamanda, naylon, teflon ve plastikler gibi sentetik malzemelerde de başarılı sonuçlar vermektedir. Bu işlemin en önemli dezavantajı, çok hızlı bir üretim temposunda işleri, en az 24 saat sürmesinden ileri gelerek yavaşlatmasıdır. Ayrıca soğutma odalarının ölçüleri de burada ıslah edilecek parçalar için kısıtlayıcı bir etmendir [32].

Kriyojenik işlemin etkileri;

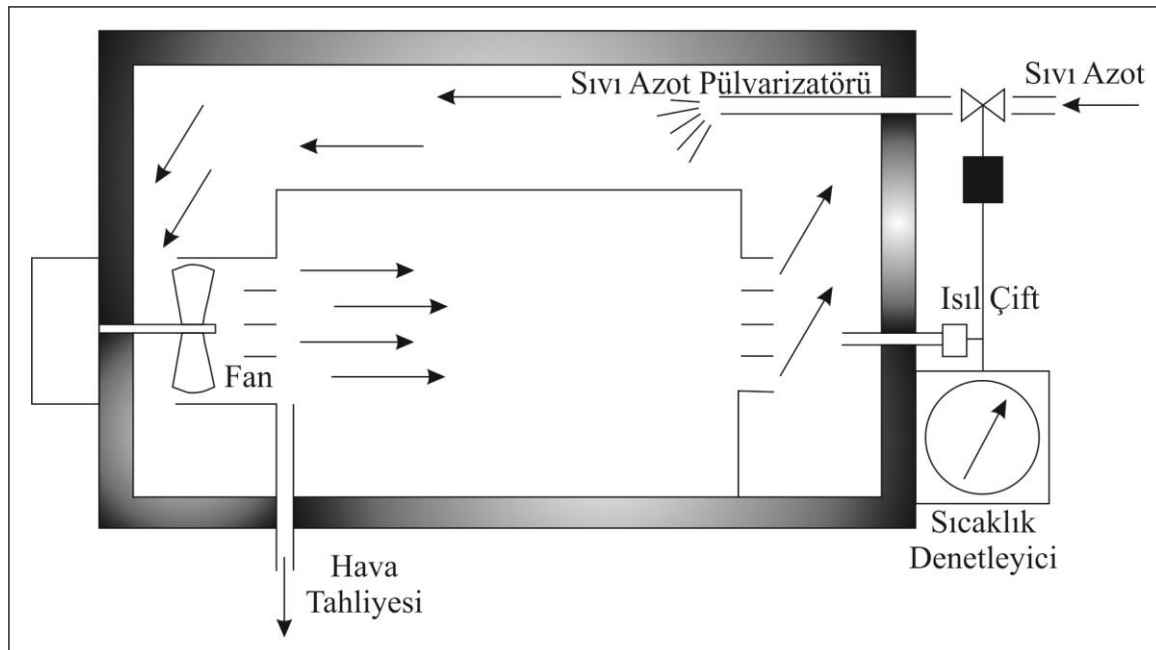
- Kalıntı östenitin giderilmesi ve yapının martenzite dönüşmesi,
- Çok ince η -karbür (eta karbür) partiküllerinin martenzit matris üzerinde homojen olarak çökmesi,
- Sertlik dağılımının düzenlenmesi,
- İç gerilmelerin/kalıntı gerilmelerin giderilmesi (birçok mekanik özelliği etkiler),
- Tokluğu arttırır, aşınma dayanımını arttırır, yorulma dayanımını arttırır [33].

3.1.1. Kriyojenik işlem uygulamalarında kullanılan soğutma metotları

Kriyojenik işlemde gerekli sıcaklıklara inebilmek ve hızlı soğuma elde edebilmek için sıvı azotu son derece verimli kullanabilen dondurucular geliştirilmiştir. Kriyojenik işlemlerinde kullanılan sistemlerin hepsi, doğrudan ve dolaylı soğutma olarak iki ana grupta incelenebilir [25].

3.1.2. Direkt soğutma metodu

Bu grupta yer alan sistemler hızlı soğutma için sıvı azotu etkin bir biçimde kullanır. En yaygın kullanılan yöntem olup sprey püskürtme sistemi kullanarak azotun atomize edilmesi ve çok soğuk gaza dönüşerek buharlaşması esnasında parçanın soğutulması şeklinde bir işleyişi vardır. Ayrıca, azot debisi kontrol edilerek sıcaklığı ayarlamak mümkün kılınmış ve akış kontrolü sayesinde de soğutma hızının kontrolü sağlanmıştır (Şekil 3.3, Resim 3.1) [25].



Şekil 3.3. Direkt soğutma metodu ile çalışan kriyojenik işlem sisteminin şematik gösterimi [34].

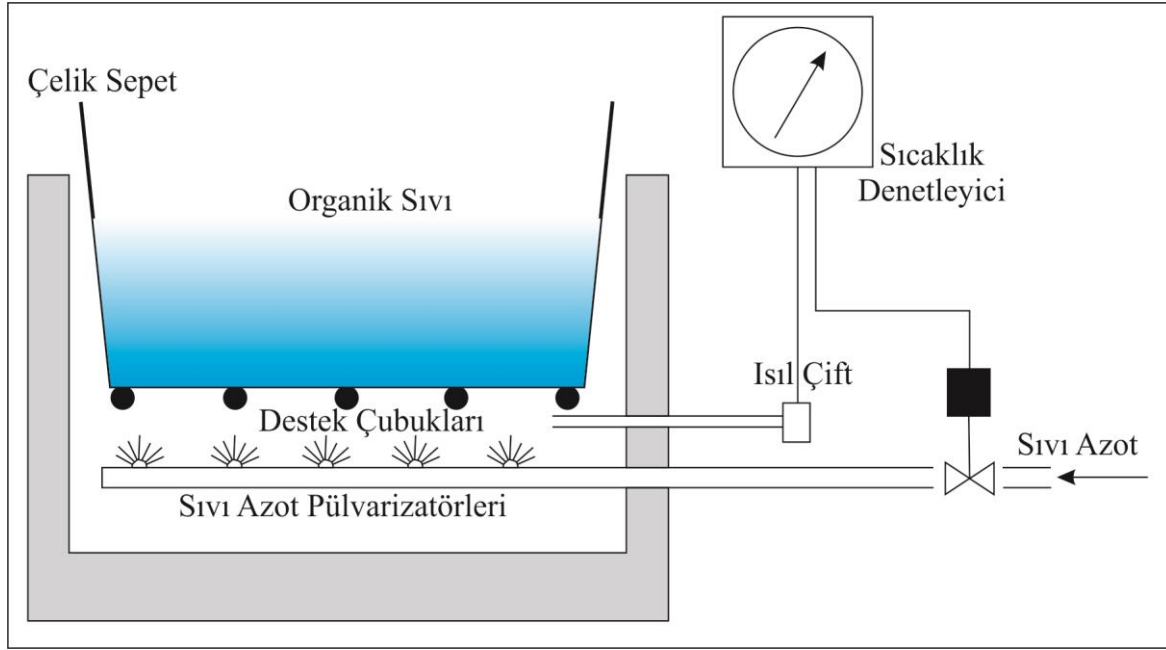


Resim 3.1. Alper ısıt işlemde yapılan kriyojenik işlemde çeşitli resimler

3.1.3. Endirekt soğutma metodu

Sıvı azot ile bir alkol tankının dışarıdan soğutulması ve parçaların sıfırlı işlem için bu alkole daldırılması şeklinde uygulanılmaktadır. Bu yöntemde ulaşılabilecek en düşük sıcaklık -120°C 'dir.

Kriyojenik işlem sistemlerinde kullanılan sıvı azot, uygun depolama tanklarında muhafaza edilmelidir. Sıvı azot tanklarının iki cidarı bulunmaktadır ve iç cidar kriyojenik sıcaklıklara dayanıklı paslanmaz çelikten, dış cidar ise karbon çeliğinden imal edilmelidir. Bu iki cidar arasında ısı iletimini engellemek üzere özel yalıtım maddesi konulur ve vakum ortamı sağlanır (Şekil 3.4) [25].



Şekil 3.4. Endirekt soğutma metodu ile çalışan kriyojenik işlem sisteminin şematik gösterimi [34].

4. KALINTI GERİLMESİ

Kalıntı gerilmeler, dış kuvvetlerden bağımsız olarak bir cisimde meydana gelen gerilmeler sistemi olarak tanımlanır [35]. Bir makine elemanı eğer hiç kalıntı gerilmesi bulundurmada üretilmiş olsa bile, özellikle değişken yüklemenin söz konusu olduğu servis şartlarında kalıntı gerilmeler ortaya çıkabilir. Bundan dolayı tasarım mühendisi bu tür gerilmeleri dikkate almak zorundadır [36].

Kalıntı gerilmeler elastik gerilmelerdir. Kalıntı gerilmenin ulaşabildiği maksimum değer malzemenin akma gerilmesi ile sınırlıdır. Gerilme bu değeri geçtiği anda, ters yönlü bir dış kuvvet yoksa akma gerilmesi değerine ininceye kadar malzeme kendisini deforme eder. Bir diğer ifade ile plastik deformasyon meydana gelerek kalıntı gerilme değeri düşer [36].

Sertleştirme işlemleri sonucu iş parçasının yüzey bölgesinde hacim değişiklikleri ortaya çıkar [36]. Bir metal ısıtıldığında ve hemen ardından soğutulduğunda meydana gelen farklı genleşmeler, termal kaynaklı kalıntı gerilmelerin oluşumunun temel nedenidir. Tam veya yüzey sertleştirme işlemlerinde iş parçasının farklı bölgelerinde farklı sıcaklıkların bulunmasından iç gerilmeler doğar. Bu nedenle, bu işlem esnasında doğal olarak dış yüzey bölgelerinde soğuma hızı iç bölgelere göre daha yüksektir. Ayrıca, faz dönüşümü sonucu da kalıntı gerilmeler meydana gelmektedir[35, 37].

Parça şekillendirmede kullanılan imalat işlemleri mikro yapı, son yüzey ve kalıntı gerilme gibi kapsamlı değişkenleri içerir. Kalıntı gerilmelerin kaynaklarının bilinmesi ve kontrol edilmesi, kalıntı gerilmelerden istenilen yönde sonuç elde edilmesini sağlar [38].

4.1. Kalıntı Gerilme Tipleri

Metalik malzemeler söz konusu olduğunda, kalıntı gerilmeler makro, mikro ve submikroskopik kalıntı gerilmeler olmak üzere üç tip olmaktadır. Makro kalıntı gerilmeler, plastik deformasyondan ileri gelebilir ve geniş bir alanı etkilerler. Mikro gerilmeler, mikro yapıdaki homojensizlikler nedeniyle (örneğin faz dönüşüm süreçleri) meydana gelirler. Özellikle tanelerde etkili olurlar ve genellikle rasgele dağılmışlardır. Mikro kalıntı

gerilmeler makro gerilmeler içerisinde dahil olmuştur. Sub-mikroskopik kalıntı gerilmeler ise kristal kafesi oluşturan atomlar arasında meydana gelir [19].

4.2. Kalıntı Gerilmesi Ölçüm Metodları

Kalıntı gerilmesi ölçüm yöntemleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir [19].

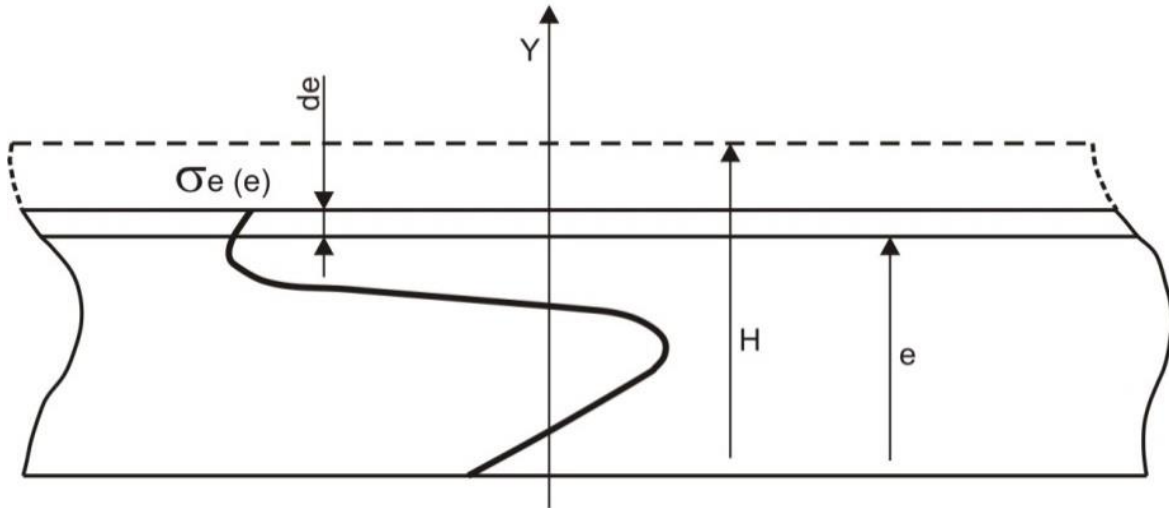
Kalıntı Gerilmesi Ölçüm Metodları	Mekaniksel Gerilme Ölçüm Metotları	Katman Kaldırma Tekniği Delik Delme Metodu Çatlak Uyma Metodu Diğer Mekanik Metotlar
	Kırınım Yardımıyla Gerilme Ölçümü	Elektron Kırınımı X-ışını Kırınımı Nötron Kırınımı Kuvvetli X-ışınları (Synchrotron)
	Dalga Metotları	Manyetik Dalga Teknikler Elektrik Dalgaları Tekniği Ultrasonik Dalga Tekniği Piezospektroskopik (Raman) Etki Teknikleri
	Diğer Metotlar	Termoelastik Metotlar Foto Elastik Metotlar Dönüşüm Gerinimleri Ölçümü

Şekil 4.1. Kalıntı gerilmesi ölçüm metodları [19].

4.2.1. Katman kaldırma yöntemi

Bu çalışmada, katman kaldırma yöntemi kullanıldığından dolayı sadece bu teknikle ilgili literatür çalışması aşağıdadır.

Bu metodun temeli basittir. Kalıntı gerilmelerin bulunduğu düzlem bir parça iç momentler ve kuvvetlerin statik dengesini bozmayacak şekilde biçim değiştirir. İnce bir paralele kenar test numunesinde bu biçim değişiklikleri sehim (δ) olarak ifade edilir. Bu sehim kalıntı gerilmenin büyüklük ve tipine bağlıdır ve malzeme kalınlığı boyunca ki dağılımı $\sigma(e)$ ’nin bir fonksiyonu yardımıyla karakterize edilir. Burada “e” numunenin yüzey alanına göre ele alınacak alanın kalınlığıdır (Şekil 4.2) [19, 39].



Şekil 4.2. Katman kaldırma esnasında kalıntı gerilmenin yeniden dağılımı [38].

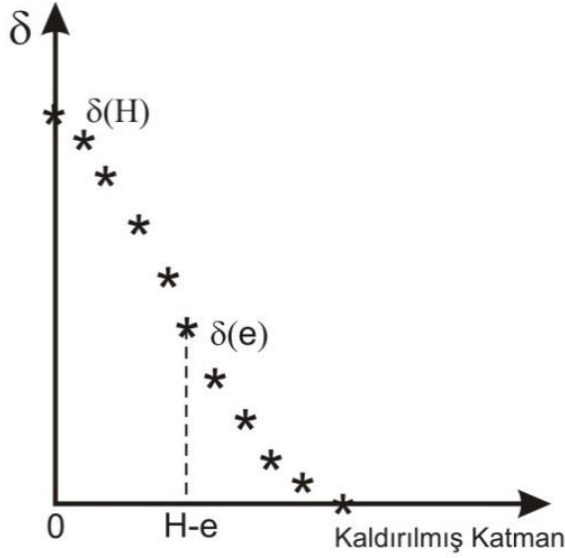
Eğer kalıntı gerilmelerin bulunduğu malzeme katmanı kimyasal işleme ile düzgün olarak kaldırılırsa, aynı zamanda iç kuvvetlerin ve momentlerin dengesi yeniden oluşacaktır. Bu dengenin yeniden elde edilmesi için, parça biçim değiştirecektir. de kalınlığındaki katmanın kaldırılmasıyla oluşan $d\delta$ sehmindeki değişime bağlı (Şekil 4.3) kaldırılmış katmanda var olan $\sigma_e(e)$ yüzey gerilmesi “Eş. 4.1” yardımıyla ifade edilebilir [19].

$$\sigma_e(e) = -\frac{4}{3}E \frac{e^2}{l^2} \frac{d\delta}{de} \quad (4.1)$$

burada l sehmin ölçüldüğü uzunluğu, E ise malzemenin elastikiyet modülünü ifade eder [19].

Bu denklem aşağıdaki hipotezlerin kabulüne bağlıdır [39].

- Ön gerilmeli deney numunesi homojendir ve izotropiktir: temel gerilmeler bu gerilmelerin ekseni ile çakışiktır.
- Kalınlık boyunca var olan gerilme ihmal edilebilir.
- Enine gerilmeler öncelikli olarak ihmal edilebilecek olsa bile, tam anlamıyla hesaba katılmış olmalıdır [19].



Şekil 4.3. Kaldırılmış katman kalınlığının bir fonksiyonu olarak eğilme deformasyonu [19].

Bu nedenle, sadece test numunesinin eksenine paralel temel gerilme dikkate alınır. Bu gerilme, sabit bir eğriye sahip olan sabit bir bükme momentinin zorlamasına maruz kalmış bir kirişteki gerilme durumuna benzetilebilir. Gerilme sadece derinliğe göre değişecek ve deney numunesinin bütün genişliği ve uzunluğu boyunca değişmeyecektir [39].

İşlenmeden önce *de* katmanı kaldırılmadan önceki yüzeyde) deney numunesinde var olan, $\sigma(e)$, kalıntı gerilme, “Eş. 4.2” ile ifade edilir [19].

$$\sigma(e) = \sigma_e(e) + \Delta\sigma \quad (4.2)$$

e ölçüsü üzerindeki katmanların kaldırılması sonucu e ölçüsündeki toplam gerilme değişimini ifade eden $\Delta\sigma$, “Eş. 4.3” ile hesaplanır [21].

$$\Delta\sigma = -\frac{8.E.e}{l^2} \cdot \int_h^e d\delta + \frac{8}{3} \cdot \frac{E}{l^2} \cdot \int_h^e e' \cdot d\delta \quad (4.3)$$

Bu durumda, “Eş. 4.2” ve “Eş. 4.3” “Eş. 4.4” de yerine konularak, deney numunesinde var olan toplam kalıntı gerilmeyi belirlemek için gerekli “Eş. 4.4” elde edilir [19].

$$\sigma(e) = -\frac{4}{3} \cdot E \cdot \frac{e^2}{l^2} \cdot \frac{d\delta}{de} - \frac{8.E.e}{l^2} \cdot \int_h^e d\delta + \frac{8}{3} \cdot \frac{E}{l^2} \cdot \int_h^e e' \cdot d\delta \quad (4.4)$$

Katman kaldırma tekniği genellikle katmanlar ve kaplamalar içerisindeki gerilmeleri belirlemek için kullanılır. Katmaların kaldırılması esnasında oluşan deformasyon değişimleri kaldırılan tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak gerilmedeki uygun varyasyonların hesaplamasını mümkün kılar. Deformasyonlar, temaslı (profilometre, strain gage vb.) yada temassız (video, lazer tarama, ızgaralama, çift kristal kırınım topolojisi vb.) ölçü araçlarından biri kullanılarak ölçülebilir. Elde edilen deformasyon değerleri $0,1 \text{ mm}^{-1}$ civarının altındadır. Ölçümler genellikle çok eksenli deformasyonları ve mekaniksel kararlılığı sağlamak için dar şeritler (genişlik/uzunluk $<0,2$) üzerinde yapılır [19].

Katman kaldırma işlemi metalik ve polimerik kompozitlerdeki, ayrıca plazma, kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme kullanılarak üretilmiş kaplamalardaki gerilmeleri belirlemek için uygulanabilmektedir [19].

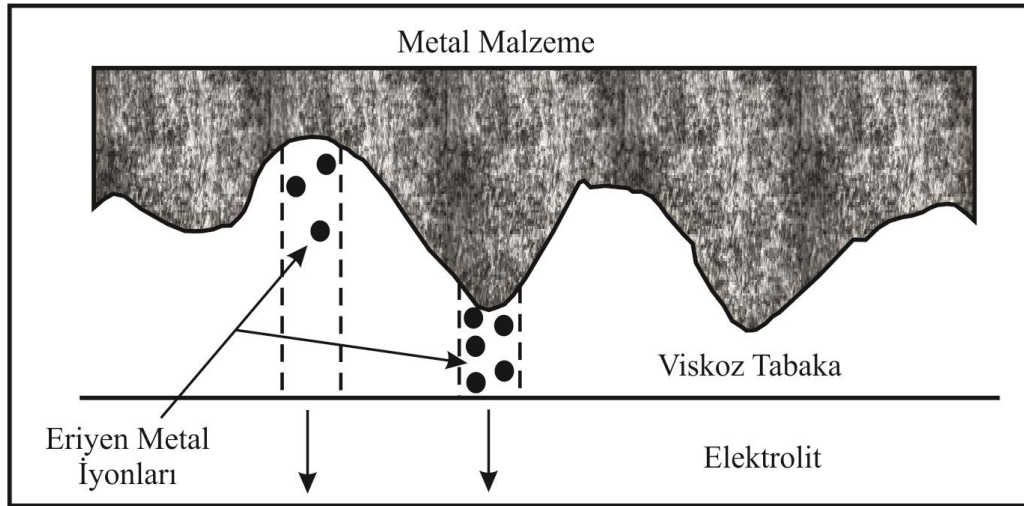
Metal malzemelerde elektrokimyasal parlatma yöntemiyle katmanların seri bir biçimde kaldırılması mümkündür. İşlemeden kaynaklanan ilave bir gerilme oluşturmaması, elektrokimyasal parlatma yönteminin katman kaldırma işlemi için tercih edilmesinde ki en büyük sebeptir. Bunun yanında, bu yöntem diğer yöntemlere göre oldukça ucuzdur ve amaca uygun çok özel aparatlar gerektirmez [19].

Elektrokimyasal işlemde parça yüzeyinden katmanların kaldırılması yüzeye gönderilen elektronlar yardımıyla olmaktadır. Gerilmelerin etki yaptığı derinliğinin her bir katı için df/da hesaplandıktan sonra gerilme değerleri formüllerle hesaplanır [37].

Elektrokimyasal yöntemle katman kaldıran sistem, birbirinden bağımsız olmayan dört tasımdan oluşmaktadır [37]. Bunlar:

1. Elektrokimyasal yöntemle numuneden sürekli tabakalar kaldıran elektro kimyasal tasım,
2. Numunenin cihaza bağlanmasını, elektrolit içerisine daldırılmasını ve elektrolitin numune üzerine akışım sağlayan pompa sistemini içeren mekanik tasım,
3. Numuneden tabakalar kaldırılırken oluşan deformasyonu elektrik sinyallerine dönüştüren elektrik tasım,
4. Sinyalleri bilgisayarın anlama ve aktarma mantığına dönüştürebilen donanım ve yazılımlar.

Elektrokimyasal yöntem ile yüzeyden tabaka kaldırma süreci öncesinde metal parçanın yüzeyi aktif ve pasif alanlardan oluşur. Aktif alanlar mikroskobik yükseklikler, pasif alanlar ise mikroskobik çukurluklar olarak düşünülür. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi elektrokimyasal işlemede ilk olarak elektrolit içerisine batırılan malzemenin (anot) mikroskobik yükseklikleri aşınmaya başlar. Mikroskobik yüksekliklerin aşınması sonucunda anot malzeme yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşur (Şekil 4.4) [37].



Şekil 4.4. Elektrokimyasal işleme yönteminin prosesi [37].

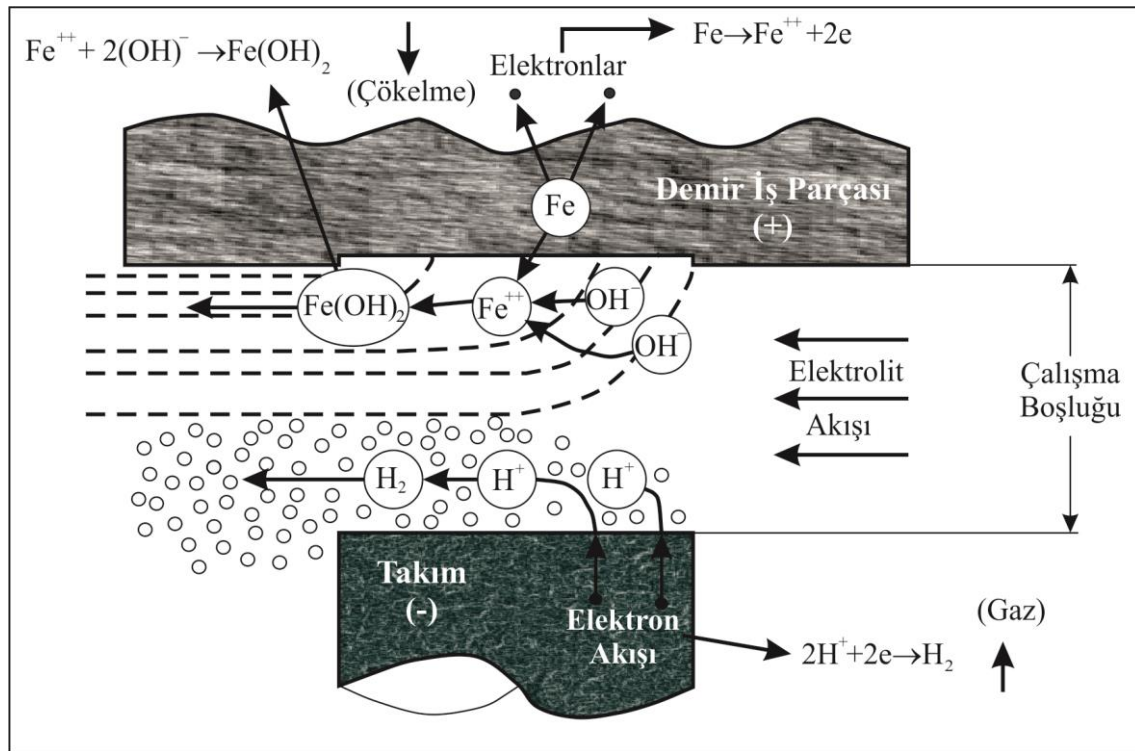
Elektrokimyasal işlemede iyi bir yüzey kalitesi için akım yoğunluğu, voltaj ilişkisi en önemli parametredir [37].

Elektrokimyasal işlemede akım yoğunluğu ve voltaj dışında numune yüzeyini etkileyen diğer parametreler şunlardır [37]:

- Elektrolit sıcaklığı,
- Elektrolit içerisindeki anot ile katodun yönü,
- Elektrolit tipi,
- Anot ile katot arasındaki mesafe,
- Elektrolitin ömrü,
- Katot malzemesi

Elektrolit metalik bir iletkeninden farklıdır. Çünkü, akım elektronlar yardımıyla değil de, ya alınan ya da verilen elektronlara sahip atomlar yardımıyla taşınmaktadır ve bundan dolayı ya negatif ya da pozitif yükler elde edilir. Böyle atomlar iyon olarak adlandırılır, negatif yükleri taşıyan bu atomlar elektrolitten anoda (iş parçasına) doğru geçer ve anyon olarak adlandırılır. Pozitif olarak yüklenmiş iyonlar katoda doğru hareket eder ve katyon olarak adlandırılır (Şekil 4.4) [37].

Elektro kimyasal işleme ile elektroliz prosesini daha net olarak ifade etmek için, Şekil 4.5’de uygun bir elektrolitin içerisindeki demir bir iş parçasına uygulanmış olan elektro kimyasal prosesi gösterilmektedir. Çalışma boşluğu arasından akan elektrot içerisindeki anoda (iş parçasına) ve katoda (takım) bir DC güç kaynağı bağlandığında anot çözünmesi başlar [37].



Şekil 4.5. Uygun bir elektrolit içerisindeki iş parçasına uygulanan elektro kimyasal süreç [35].

Gerçekte elektrokimyasal işleme ile talaş kaldırma, mekanik kesmeyle ya da metalin ergitilmesi ve buharlaştırılmasıyla gerçekleştirilmediğinden iş parçasında hiçbir ısı hasarı meydana gelmez ve iş parçası yüzeyinde hiçbir kalıcı gerilme oluşmaz. Elektrokimyasal işleme ile elde edilecek yüzey pürüzlülüğü değeri; malzemeye, elektrolite ve akım

yoğunluğuna bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğünde iyileştirme genellikle malzemenin doğru yöntemle işlem görmesiyle mümkündür [35].

Endüstride yaygın olarak kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2) kalite sementasyon çeliği, mil ve dişli çark yapımında kullanılan başlıca malzemelerdendir. Kriyojenik işlemin, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Kalıntı gerilme çalışmaları için katman kaldırma yöntemi, hem maliyetinin düşük olması hem de uygulanabilmesi kolay olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu nedenle yapılan literatür araştırmasında, SAE 8620 kalite çeliğine uygulanan kriyojenik işlemin katman kaldırma yöntemi ile ölçüm yapılarak kalıntı gerilmelerin etkisine dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, SAE 8620 kalite çeliğe; sementasyon sonunda yapılan -145°C 'de 24 saat bekletmek suretiyle derin kriyojenik işlem ve sonrasında temperleme (1 ve 3 saatlik) işlemi uygulanarak, 7 farklı kategoride sınıflandırılan numunelerin mekanik özellikleri (mikrosertlik, çekme testi) ve malzemenin servis ömrünü doğrudan etkileyen kalıntı gerilme değerleri üzerindeki kalıcı etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Kalıntı gerilmelerinin ölçülmesinde katman kaldırma metodu kullanılmış ve katman kaldırma işlemi elektrokimyasal yöntemle gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, derin kriyojenik işlem uygulanan numunelerde, mikrosertlik, çekme testi ve kalıntı gerilmesi bakımından geleneksel ısıtıl işlem uygulanan numunelere göre olumlu etkileri olup olmadığı, aralarındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır.

5. MALZEME VE METOD

Bu bölüm, deneysel çalışmada kullanılan malzemenin hazırlanmasını, ısıl işlem şartlarını ve araştırmada izlenen tüm adımları tanımlamaktadır.

5.1. Malzeme

Bu tez çalışması için seçilen çelik malzeme SAE 8620 (21NiCrMo2) kalite sertifikalı çeliği “Çemsa Çelik Metal Makina İmalat San. ve Tic. Ltd. Şti.”den 600x13 mm ebatlarında temin edilmiştir. SAE 8620 kalite çeliğe ait detaylı bilgiler aşağıdaki Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan SAE 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal analizi

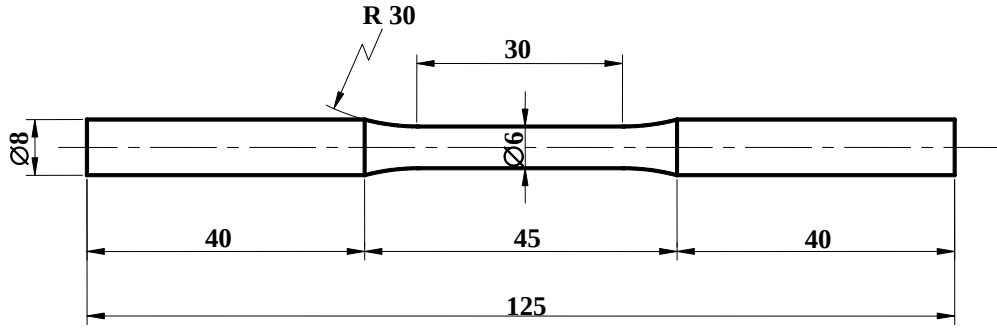
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Standart	0,18 0,23	0,15 0,35	0,70 0,90	Max 0,030	Max 0,040	0,40 0,60	0,15 0,25	0,40 0,70
Malzeme	0,21	0,19	0,79	0,025	0,035	0,43	0,18	0,41

Çizelge 5.2 Deneyde kullanılan SAE 8620 sementasyon çeliğinin sertifika bilgileri

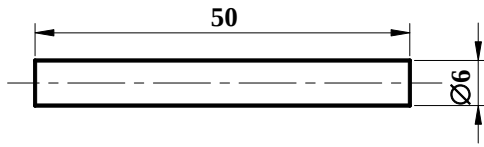
Sertifika No (Certificate Nu.)	Döküm No (Heat Nu.)	Kalite (Quality)	Kesit (Dimension)	Kullanım (Usage)	İşlem (Operation)
2011-3/208	12356	SAE 8620	Y 13 mm	Talaşlı İmalat	Sıcak Şekillendirme
Çelik Yapım Metodu		Elektrik Ark Ocağı			
Şekillendirme		Sıcak Şekillendirme			
İşlemler		Kumlama, Doğrultma			
Testler		%100 Kimyasal Analiz, %100 Ultrasonik Test, %100 Çatlak Testi			
Bu malzeme AT900-4400 test cihazı ile %100 radyoaktif testten geçirilmiş hurda ile üretilmiştir.					

5.2. Talaş Kaldırma İşlemleri

Bu çalışmada kullanılan SAE 8620 kalite çeliği öncelikle yapılacak deneyler için talaş kaldırma yöntemleri uygulanarak kalıntı gerilmesi deney numunesi ve çekme testi numunesi için uygun ebatlara getirilmiştir. (Şekil 5.1, Şekil 5.2)



Şekil 5.1. Çekme testi numunesi ölçüleri



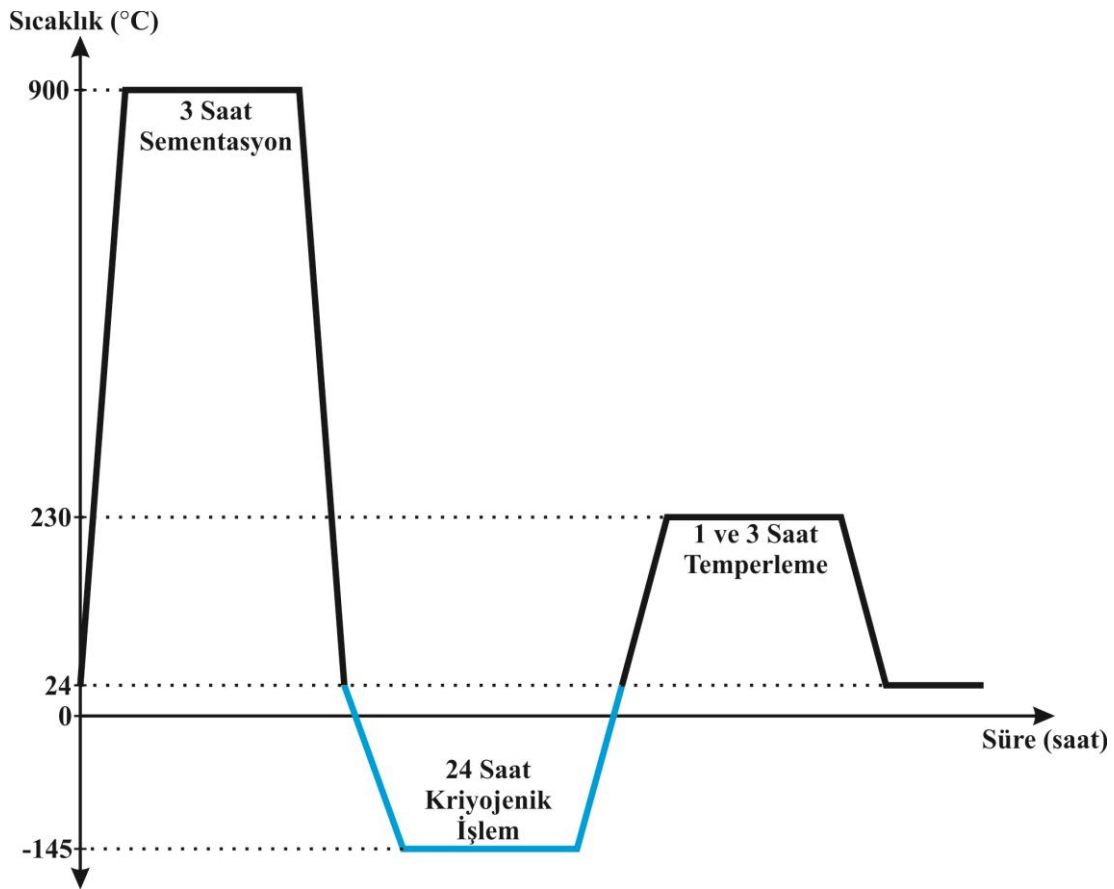
Şekil 5.2. Kalıntı gerilmesi deney numunesi ölçüleri

5.3. Isıl İşlemler

Başlangıçta bütün numunelerin sementasyon işlemi Akalın Isıl İşlem Çelik San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasında gaz atmosfer fırınında 900°C 'de, metan (CH_4) gazı karbürleyici olarak kullanılmıştır. Yaklaşık 0,5 mm sert yüzey derinliği için, 3 saat sementasyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra farklı kademelerden, yağda soğutma, sıvı azot ortamında -145°C de 24 saat kriyojenik işlem ve son olarak 230°C arasında 1 ve 3 saat temperleme (menevişleme) işlemleri, 7 ayrı numune için farklı özelliklerde işlem yapılmıştır. Çizelge 5.3'te numunelere uygulanan işlem basamakları ayrıntılı gösterilmiş ve kodlandırılmıştır. Kriyojenik işlemleri, Alper Isıl İşlem A.Ş. tarafından yapılmıştır (Şekil 5.3, Resim 5.1, Resim 5.2, Resim 5.3).

Çizelge 5.3. Deney numunelerine uygulanan işlem şartları ve deney varyantları

NUMUNE NO	ISIL İŞLEM ŞARTLARI	KODLAMA
NUMUNE 1 (N1)	3 Saat Sementasyon + Yağda Soğutma	3S + YS
NUMUNE 2 (N2)	3 Saat Sementasyon + Yağda Soğutma + 1 Saat Temperleme	3S+YS+1T
NUMUNE 3 (N3)	3 Saat Sementasyon + Yağda Soğutma + 24 Saat Kriyojenik + 1 Saat Temperleme	3S+YS+K+1T
NUMUNE 4 (N4)	24 Saat Kriyojenik + 1 Saat Temperleme	K+1T
NUMUNE 5 (N5)	Ham Numune	HN
NUMUNE 6 (N6)	3 Saat Sementasyon + Yağda Soğutma + 3 Saat Temperleme	3S+YS+3T
NUMUNE 7 (N7)	3 Saat Sementasyon + Yağda Soğutma + 24 Saat Kriyojenik + 3 Saat Temperleme	3S+YS+K+3T



Şekil 5.3. Isıl işlem çevrimlerinin şematik özeti



Resim 5.1. Sementasyon işleminin yapıldığı fırın



Resim 5.2. Temperleme işleminin yapıldığı fırın



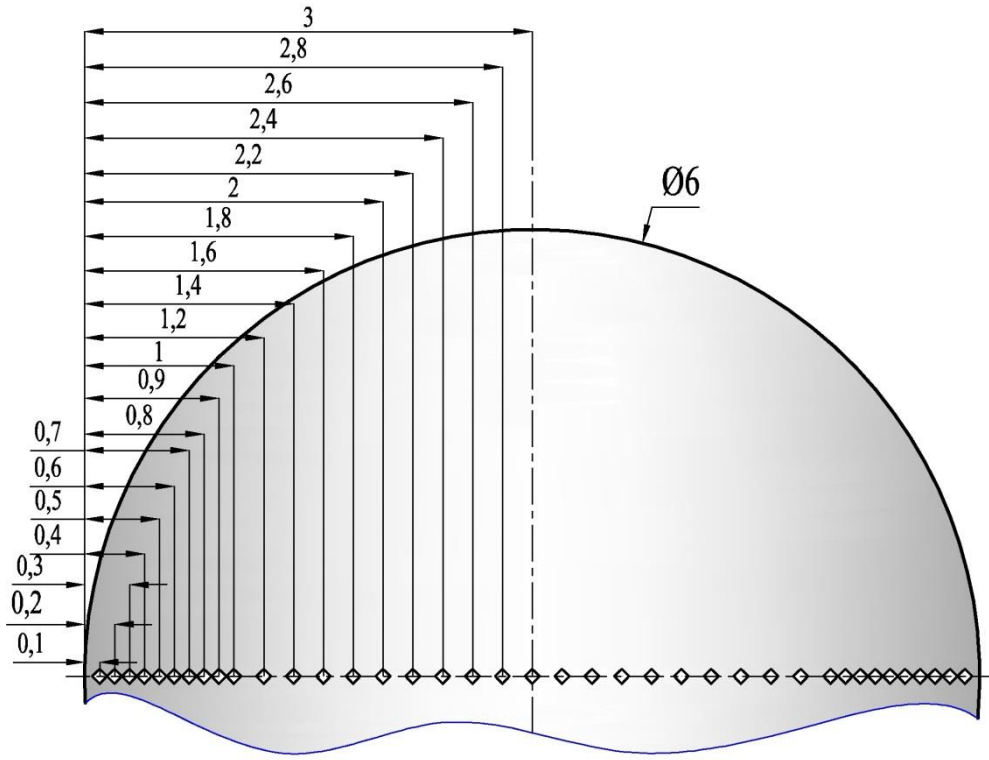
Resim 5.3. Kriyojenik işlemin yapıldığı fırın

5.4. Mikro Sertlik Testleri

Isıl işlemlerin malzeme yüzeyinden merkeze doğru, farklı ısıl işlemler sonucunda sertlik dağılım profillerini tespit etmek için numunelerin Vickers mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Bunun için, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Mekanik Laboratuvarı imkânları kullanılarak, 1 Kg yükleme ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde batıcı uç olarak 136° tepe açılı elmas kare piramit kullanılmıştır. Numuneler üzerinde, Şekil 5.4’de görünen doğrultu ve aralıklarda, herbir numune için 20 farklı noktadan toplam 140 adet mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Numunelerden alınan mikrosertlik verilerinin tespit edildiği noktaların numune üzerindeki yerleşimi ve mikrosertlik cihazı Resim 5.4, Şekil 5.4’de görülmektedir.



Resim 5.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı SHIMADZU HMV2 mikro sertlik cihazı



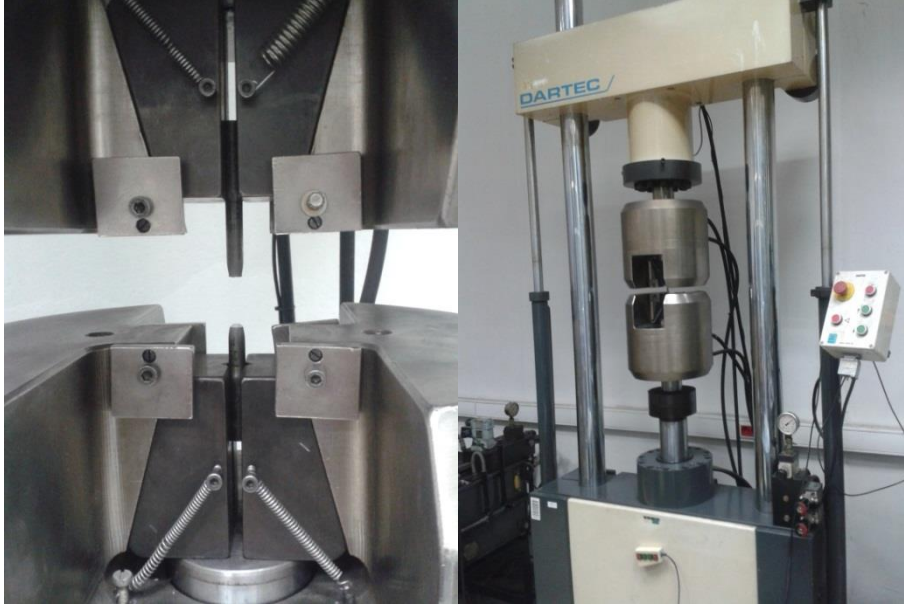
Şekil 5.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı numune üzerindeki şematik konumları

5.5. Çekme Testleri

Yapılan çekme deneyi sonucunda malzemenin akma sınırı ve kopma dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması değerlerine ulaşmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Türk Traktör Fabrikasında bulunan Dartec marka 25 ton kapasiteli universal çekme test tezgahı kullanılmıştır. Çekme testleri oda sıcaklığında, 3N ön yüklemeli olarak 5 mm/dk hızda gerçekleştirilmiştir (Resim 5.5, Resim 5.6).



Resim 5.5. Çekme testi numunesi



Resim 5.6. Çekme testi uygulanan DARTEC marka cihaz

5.6. Kalıntı Gerilme Ölçümleri

Bu çalışmada, kalıntı gerilmelerinin ölçülmesinde katman kaldırma metodu kullanılmış ve katman kaldırma işlemi elektrokimyasal yöntemle gerçekleştirilmiştir. Kalıntı gerilme çalışmaları için katman kaldırma yöntemi, hem maliyetinin düşük olması hem de uygulanabilmesi kolay olması nedeniyle tercih edilmiştir.

5.6.1. Deney aşaması

Kalıntı gerilmelerinin ölçümleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği öğretim üyelerinden Doç. Dr. Fırat KAFKAS'ın tasarlamış ve imal etmiş olduğu deney seti kullanılmıştır (Resim 5.7)

Deney düzeneğinin ana kısımları şu şekildedir.

- Deney Seti (Katmanın kaldırıldığı kısım)
- Güç Kaynağı (Giriş gücü: 220V $\pm$ 10% 50/60 Hz Çıkış Gücü: 0 ile 30 V arası değişken ve sabit olarak kullanılabilir. Akım: 0 ile 3A arası değişken ve sabit olarak kullanılabilir.) (Resim 5.8),
- Yazılım (Doğrusal ölçüm aygıtından gelen veriyi “*.txt” dökümanı haline getirmektedir.).



Resim 5.7. Katman kaldırma deneyi deney düzeneği ve çalışma ortamı



Resim 5.8. Ayarlanabilir DC güç kaynağı

Elektrokimyasal yöntemle katman kaldırma yönteminde önemli olan numune üzerinden katman kaldırıldıktan sonra numunedeki deformasyon durumu yani yüzeyin kalitesidir. İyi bir yüzey kalitesi elde edebilmek içinde dört önemli şart vardır;

- Uygun elektrolit seçimi,
- Katot Seçimi,
- Anot ile Katot arasındaki mesafe,
- Uygun akım şiddeti.

Elektrokimyasal yöntemle katman kaldırma deneyine başlarken bu dört parametre için ön hazırlık çalışmaları yapılmış ve uygun şartlar sağlanmıştır.

Elektrokimyasal yöntemle katman kaldırma deneyi SAE 8620 kalite çeliğe uygun katman kaldırma parametreleri seçildikten sonra deney süreci başlatılmıştır.

Deney setindeki pompa ve DC güç kaynağı aynı anda çalıştırılarak deney başlatılmış olur.

Bundan sonra gelen veriler daha önceden yazılmış olan yazılım sayesinde dakikada bir ölçüm olarak bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu işlem iki saat sürmektedir.

Bu iki saatlik işlem sürecinden sonra sistem kapatılıp, numune deney düzeneğinin içerisinden takıldığı gibi çıkarılmakta ve kaldırılan toplam katman mesafesi ölçülmektedir (Resim5.9, Resim 5.10).



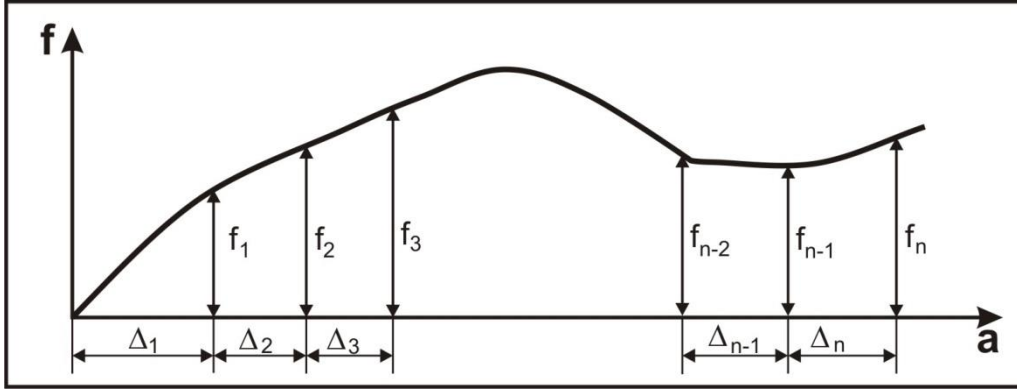
Resim 5.9. Numunenin deney öncesi ve sonrasındaki hali



Resim 5.10. Katman kaldırma işlemi sonunda numunenin son hali

5.6.2. Kalıntı gerilmelerinin hesaplanması

Elektrokimyasal yöntemle katman kaldırma deney sonuçlarının hesaplanabilmesi için birim zamanda kaldırılan her katmana karşılık gelen “a” değeri ile deformasyon miktarı “f” değerinin, birim zamanda kaldırılan her bir katmana karşılık gelen ($f \rightarrow a$), df/da değerinin hesaplanması gerekmektedir. df/da değeri “Eş. 5.1”, “Eş. 5.2” ve “Eş. 5.3” gösterilmiştir. Şekil 5.5’de gösterildiği gibi $f(a)$ fonksiyonu bir parabol olarak bakılabilir [37].



Şekil 5.5. $f(a)$ Fonksiyonunun türev alma düzeni

Deneyin ;

Başlangıcında ($a=0$) df/da değeri;

$$\frac{df}{da}(a = 0) = f_1 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\Delta_1 \cdot \Delta_2} \right) - f_2 \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 \cdot \Delta_2} + \Delta_2^2 \right) \quad (5.1)$$

Bir süre sonraki df/da değeri;

$$\frac{df}{da}(a = 0) = -f_1 \left(\frac{\Delta_3}{(\Delta_2(\Delta_2 + \Delta_3))} \right) + f_2 \left(\frac{\Delta_3 - \Delta_2}{\Delta_2 \cdot \Delta_3} \right) + f_3 \left(\frac{\Delta_2}{(\Delta_3(\Delta_2 + \Delta_3))} \right) \quad (5.2)$$

Sonunda df/da değeri;

$$\frac{df}{da}(a_n) = -f_{n-2} \left(\frac{\Delta_n}{(\Delta_{n-1}(\Delta_{n-1} + \Delta_n))} \right) - f_{n-1} \left(\frac{\Delta_{n-1} - \Delta_n}{\Delta_{n-1} \cdot \Delta_n} \right) + f_n \left(\frac{\Delta_n + (\Delta_{n-1} - \Delta_n)}{(\Delta_n(\Delta_{n-1} + \Delta_n))} \right) \quad (5.3)$$

Formülleri ile tayin edilir [36].

Gerilmelerin birim zamandaki etki yaptığı her a derinliği için yukarıdaki denklemler kullanılarak df/da hesaplandıktan sonra “Eş 5.4”deki denklemde yerine konarak gerilmeler hesaplanır.

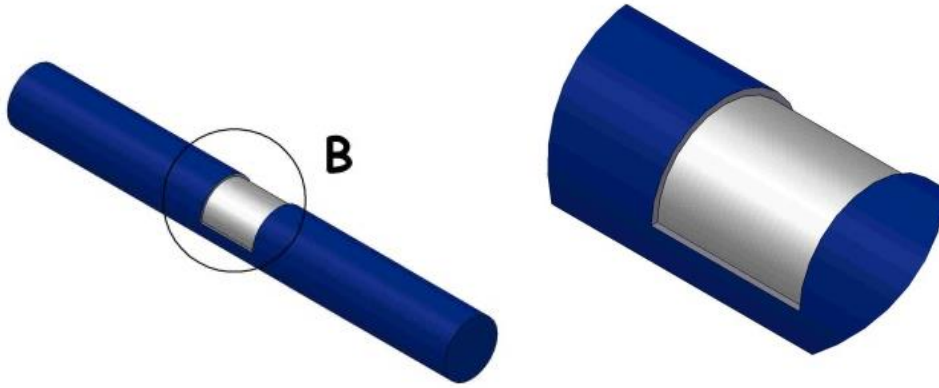
$$\sigma = \frac{E \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot l^2 \cdot b \cdot k_y} \cdot \frac{df}{da} \quad (5.4)$$

Burada σ , kalıntı gerilmesi (MPa), a ; aşındırılan kısım (mm), E ; elastikiyet modülü (MPa), d ; aşındırılan kısmın son çapı (aşınma sonrası) (mm), d_s ; aşındırılan yüzeyin ilk çapı (aşınma öncesi) (mm) ve “Eş. 5.5” ile hesaplanır (Şekil 5.6, Şekil 5.7).

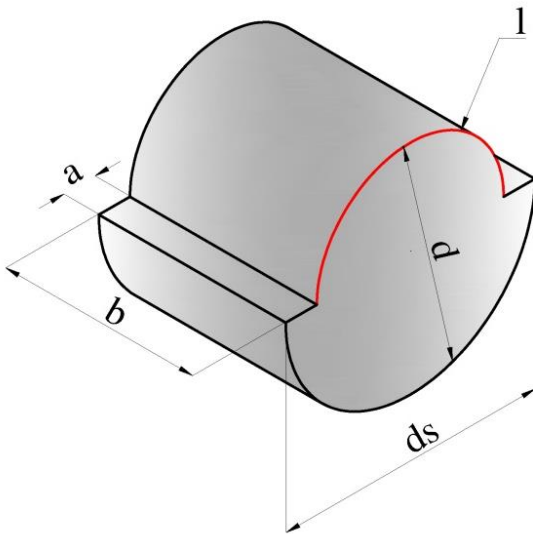
$$d = d_s - a \quad (5.5)$$

“Eş. 5.4” deki, b ; kaldırılan katman genişliği (mm), k_Y ; düzeltme katsayısı, l ; Kaldırılan katmanın uzunluğu (180° derecelik kısım) (mm), r ; aşındırılan kısmın yarı çapı (mm) ve “Eş. 5.6” ile hesaplanır (Şekil 5.6, Şekil 5.7).

$$l = \pi \cdot (r - a) \quad (5.6)$$



Şekil 5.6. Numuneden tabaka kaldırıldıktan sonraki halinin şekilsel gösterimi [37]



Şekil 5.7. Numuneden tabaka kaldırıldıktan sonra kaldırılmış olan katmanın bulunduğu bölgenin geometrisi ve hesaplamada kullanılan birimlerin yerleri [37]

Elde edilen veriler denklemde yerine konularak birim zamanda kaldırılan katmanın kalıntı gerilmesi değerleri tespit edilmiş olur.

Birim zamanda kaldırılan katmanın kalıntı gerilmeleri değerleri birleştirilerek kalıntı gerilmesi grafiği oluşturulur.

6. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde, SAE 8620 kalite çeliği; mikrosertlik, çekme testi ve kalıntı gerilmesi ölçümü, sementasyon ve kriyojeni işlemleri uygulayarak 7 farklı katagoride sınıflandırılmış, numuneler üzerindeki kalıcı etkileri tespit edilerek bir karşılaştırma zemini oluşturulmaya çalışılmıştır.

6.1. Mikrosertlik Testi Bulguları

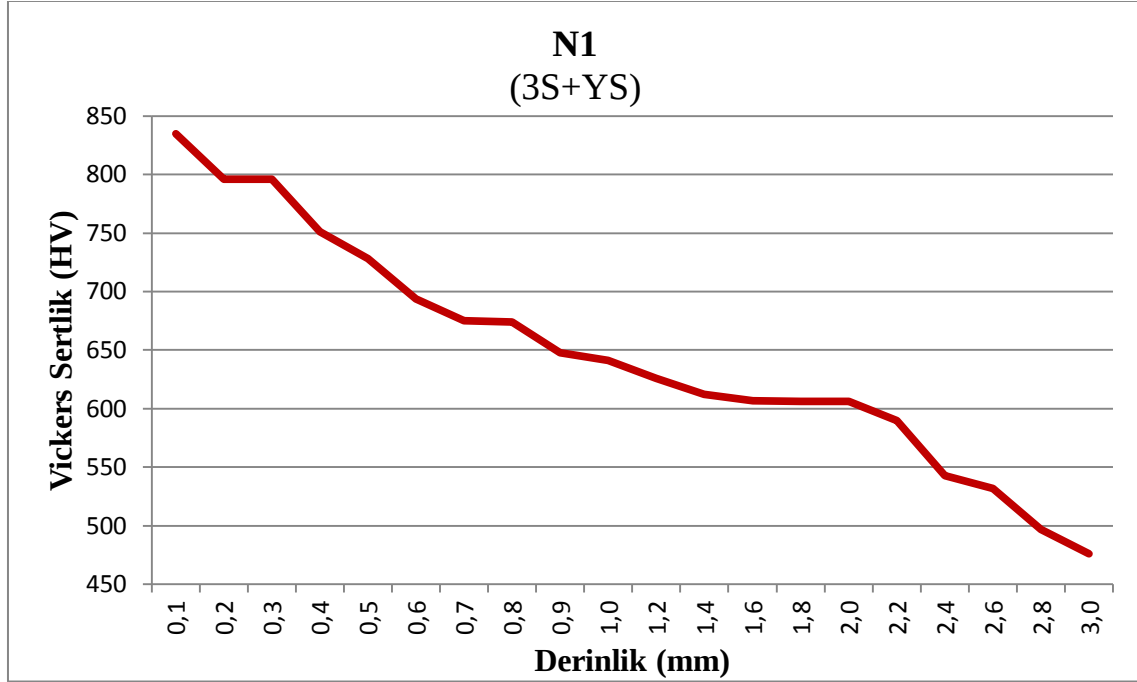
SAE 8620 malzemeye yapılan ısıtıl işlemler sonucunda, parçaların dış yüzeylerinden iç kısımlarına doğru sertlik değerlerinin nasıl değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 6.1-6.8).

Vickers skalası kullanılarak; Şekil 5.4’de görünen doğrultu ve aralıklarda her numuneden 20 ölçüm yapılan toplam 140 noktanın mikrosertlik ölçümünün sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Mikrosertlik testi sonuçları

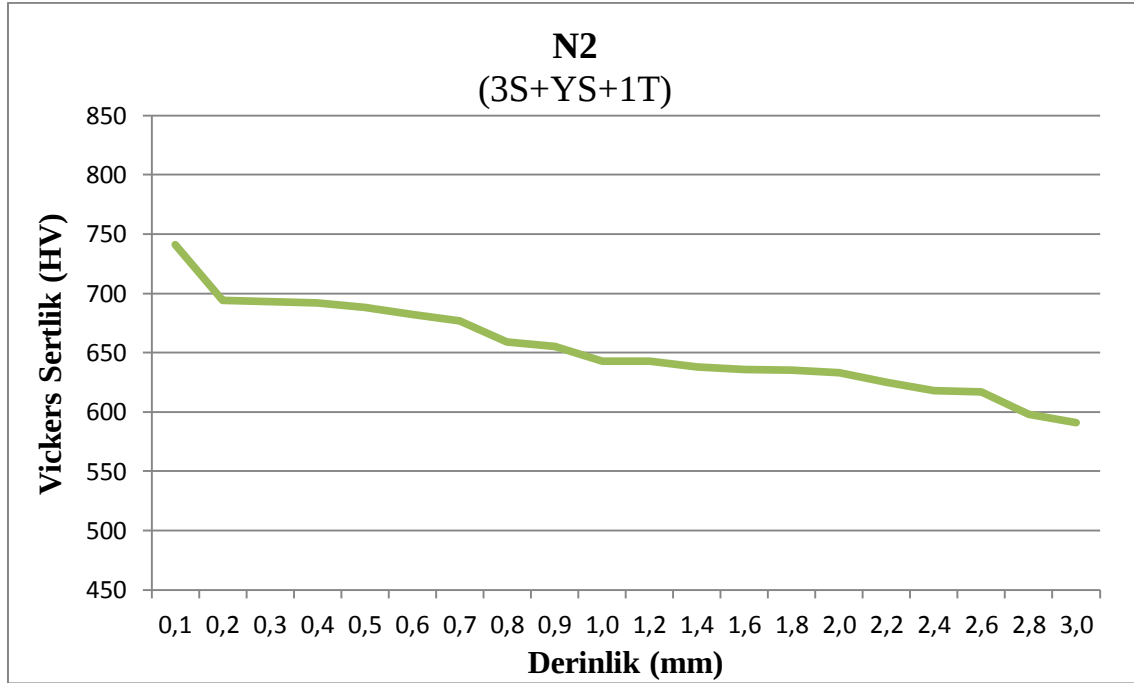
Vickers Mikrosertlik (HV)							
Derinlik (mm)	N1 (3S+YS)	N2 (3S+YS+1T)	N3 (3S+YS+K+1T)	N4 (K+1T)	N5 (HN)	N6 (3S+YS+3T)	N7 (3S+YS+K+3T)
0,1	835	741	735	270	158	787	683
0,2	796	694	735	264	163	749	652
0,3	796	693	691	261	168	748	651
0,4	751	692	688	260	164	743	644
0,5	728	688	687	254	159	736	632
0,6	694	682	685	250	162	732	624
0,7	675	677	685	248	164	727	624
0,8	674	659	679	247	162	718	623
0,9	648	655	674	246	160	717	621
1,0	641	643	672	244	166	712	620
1,2	626	643	671	241	164	710	618
1,4	612	638	671	236	161	699	617
1,6	607	636	668	232	162	679	615
1,8	606	635	667	223	157	678	613
2,0	606	633	656	221	161	639	607
2,2	590	625	656	220	158	623	600
2,4	543	618	644	215	163	615	599
2,6	532	617	636	214	152	602	590
2,8	497	598	635	213	158	597	588
3,0	476	591	618	209	156	588	576

N1(3S+YS) olarak adlandırılan numune incelendiğinde, sementasyon sonrası yağda soğutma işlemiyle yüzey sertliğinin 835 Vickers mikrosertlik değerine kadar çıktığı, numune merkezi sertliğinin de 476 Vickers mikrosertlik değeri civarında olduğu görülmektedir (Şekil 6.1).



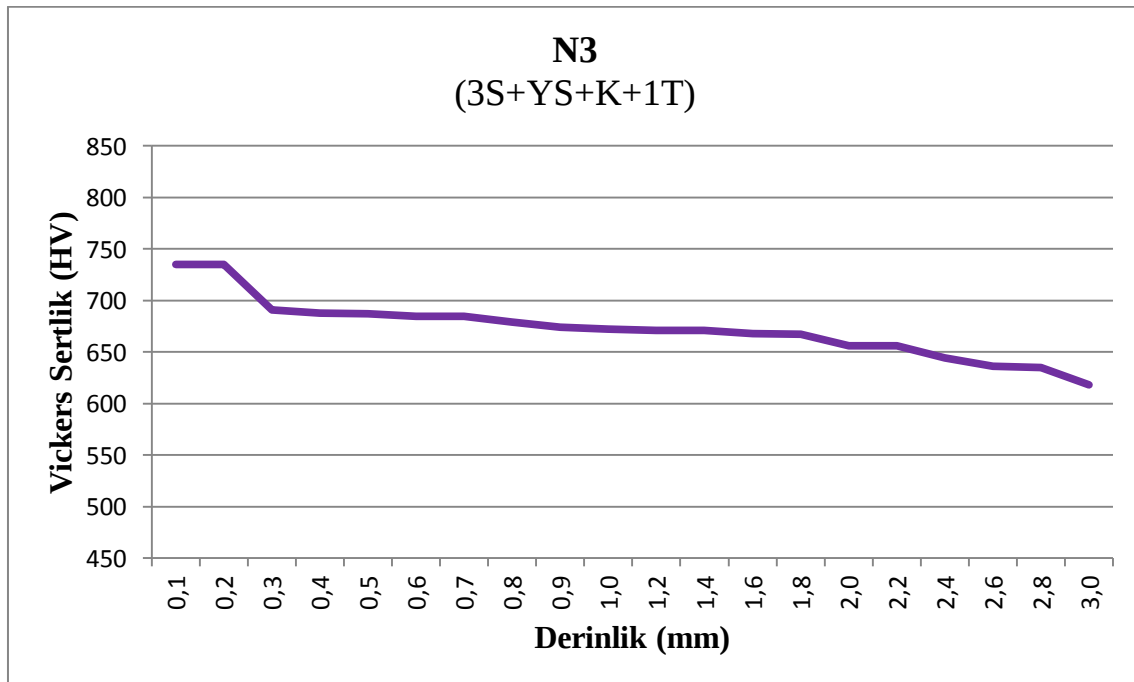
Şekil 6.1. N1(3S+YS) numunesi mikrosertlik testi sonucu

N1(3S+YS) numunesi koşullarındaki numune 1 saat temperlendiğinde (N2) ise dış yüzey sertliği 741 Vickers mikrosertlik değerine inerken, merkez sertliğinin 591 Vickers mikrosertlik değerine kadar arttığı görülmektedir. Kısaca numunenin merkezi ile yüzeyi arasındaki sertlik farklılıkları azalmaktadır (Şekil 6.2).



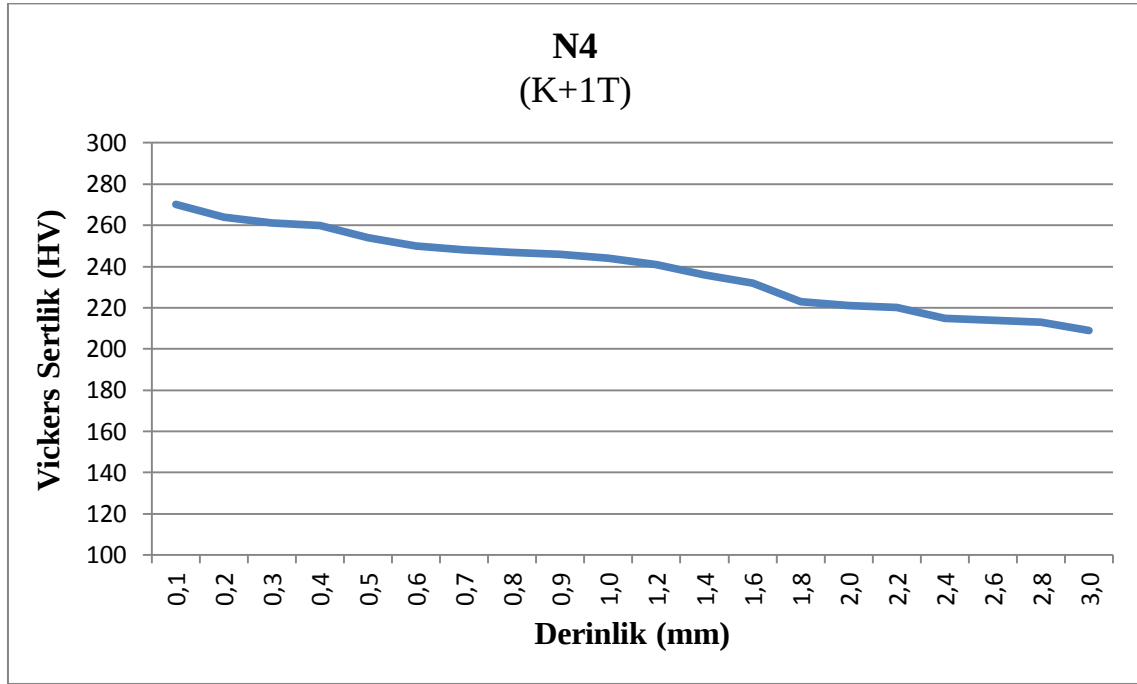
Şekil 6.2. N2(3S+YS+1T) numunesi mikrosertlik testi sonucu

Öte yandan, N2(3S+YS+1T) koşullarındaki numune sementasyon sonrası, 1 saat temperleme öncesi arada yapılan -145 °C de 24 saatlik kriyojenik işlemi mikrosertliklerde numune merkezi ile yüzeyi arasındaki fark çok fazla değişmemekte (N3 numunesi) ve yüzeydeki sertlik 735 Vickers mikrosertlik değeri civarında kalmakta, merkez sertliğinin 618 Vickers mikrosertlik değerinde kaldığı görülmektedir (Şekil 6.3).



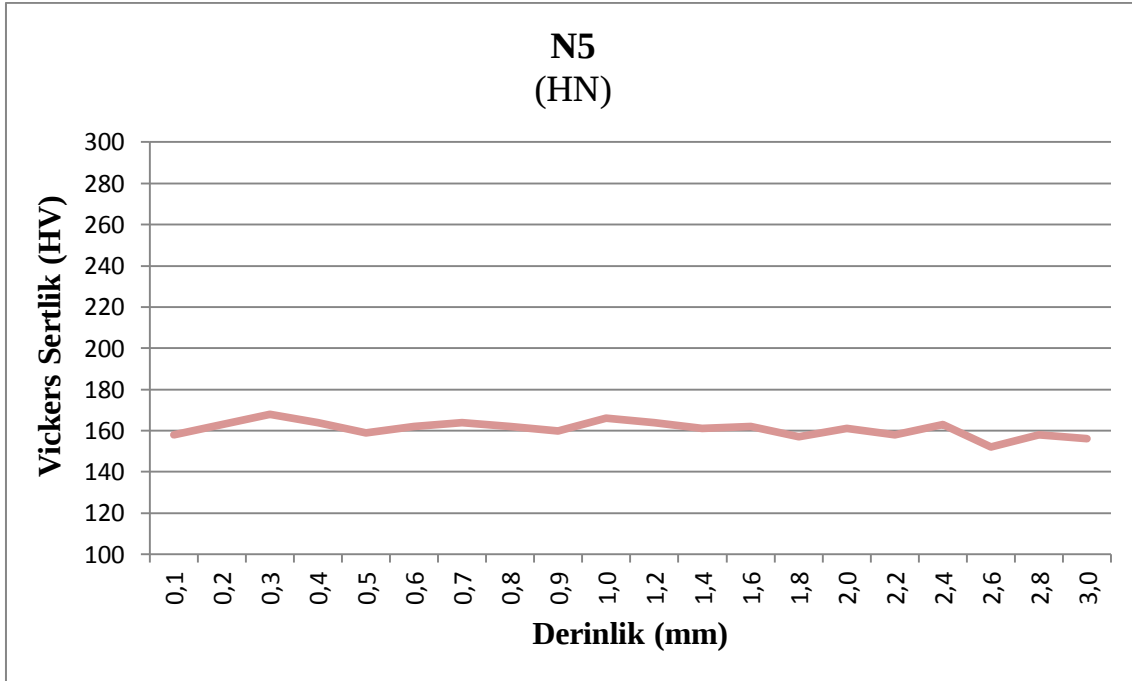
Şekil 6.3. N3(3S+YS+K+1T) numunesi mikrosertlik testi sonucu

N4(K+1T) numunesine yapılan kriyojenik işlem tek başına pek etkin görünmemektedir. Sadece kriyojenik işleminden geçirilen malzeme yaklaşık 230°C 'de 1 saat temperlendiğinde, malzemenin özelliklerinin tamamen yitirdiği ve malzemenin yumuşayarak ham malzeme özelliklerine gerilediği, buna karşın yüzey sertlik değerinin ortalama olarak az da olsa artarak, ham numuneye göre (N5), 161 Vickers mikrosertlik değerinden, 270 Vickers mikrosertlik mertebesine çıktığı görülmektedir (Şekil 6.4).



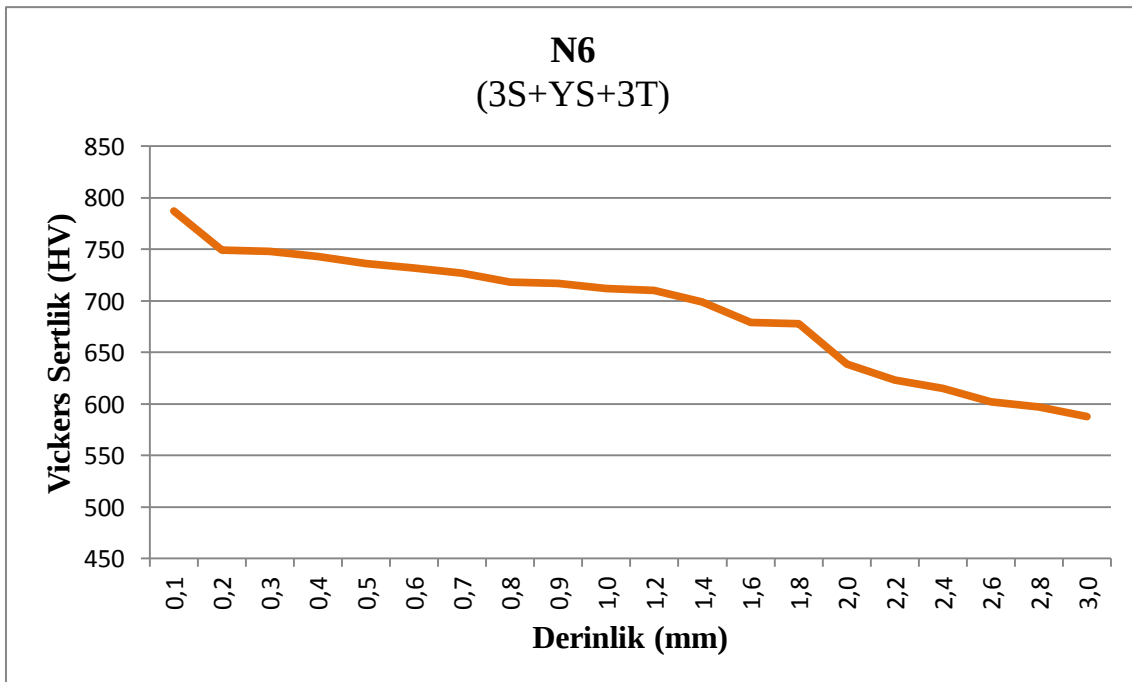
Şekil 6.4. N4(K+1T) numunesi mikrosertlik testi sonucu

Hiç işlem görmemiş ham haldeki N5(HN) numunesinin oldukça yumuşak olduğu sertlik dağılımından anlaşılmaktadır. Ortalama 161 Vickers mikrosertlik değerine sahiptir. (Şekil 6.5).



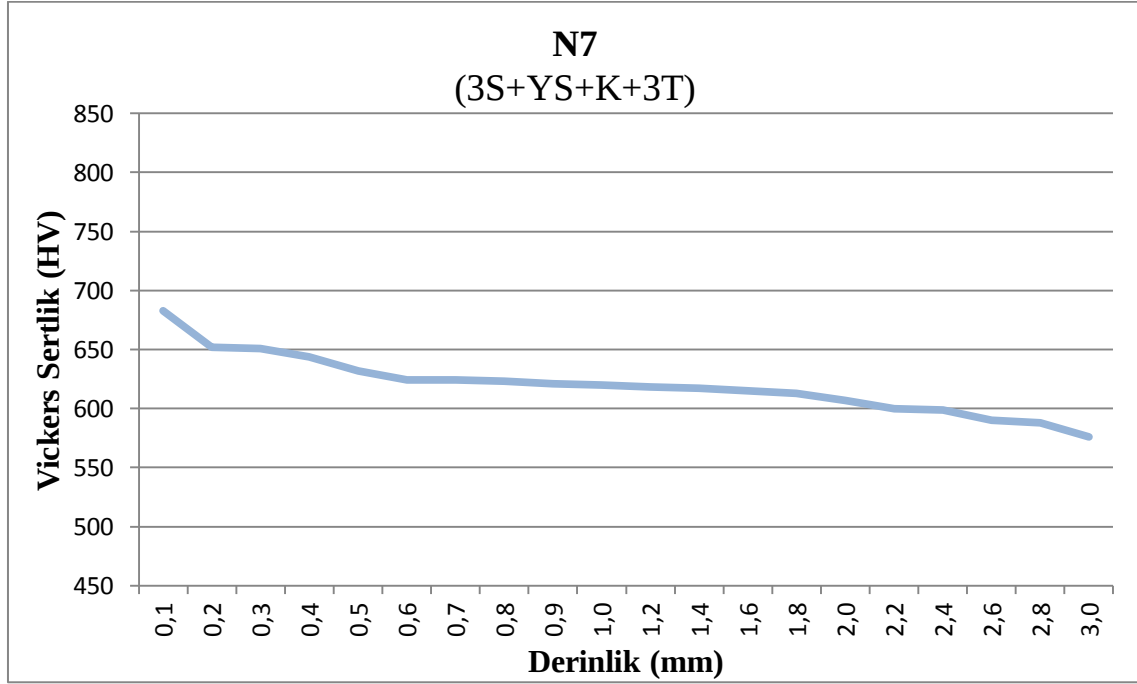
Şekil 6.5. N5(HN) numunesi mikrosertlik testi sonucu

N6(3S+YS+3T) numunesinde, temperleme süresi 3 saate çıkarıldığında ise dış yüzeydeki sertlik değeri yükselerek, 787 Vickers mikrosertlik değeri düzeyine çıkmaktadır. Numune merkezinde ise 588 Vickers mikrosertlik değerine sahiptir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. N6(3S+YS+3T) numunesi mikrosertlik testi sonucu

N7(3S+YS+K+3T) numunesinde ise, kriyojenik işlem sonrası temperleme süresi 3 saate çıkarıldığında numunenin yüzeyinde sertlik 683 Vickers mikrosertlik değeri seviyesine, numune merkezinde ise 576 Vickers mikrosertlik değerine gerilemektedir (Şekil 6.7).



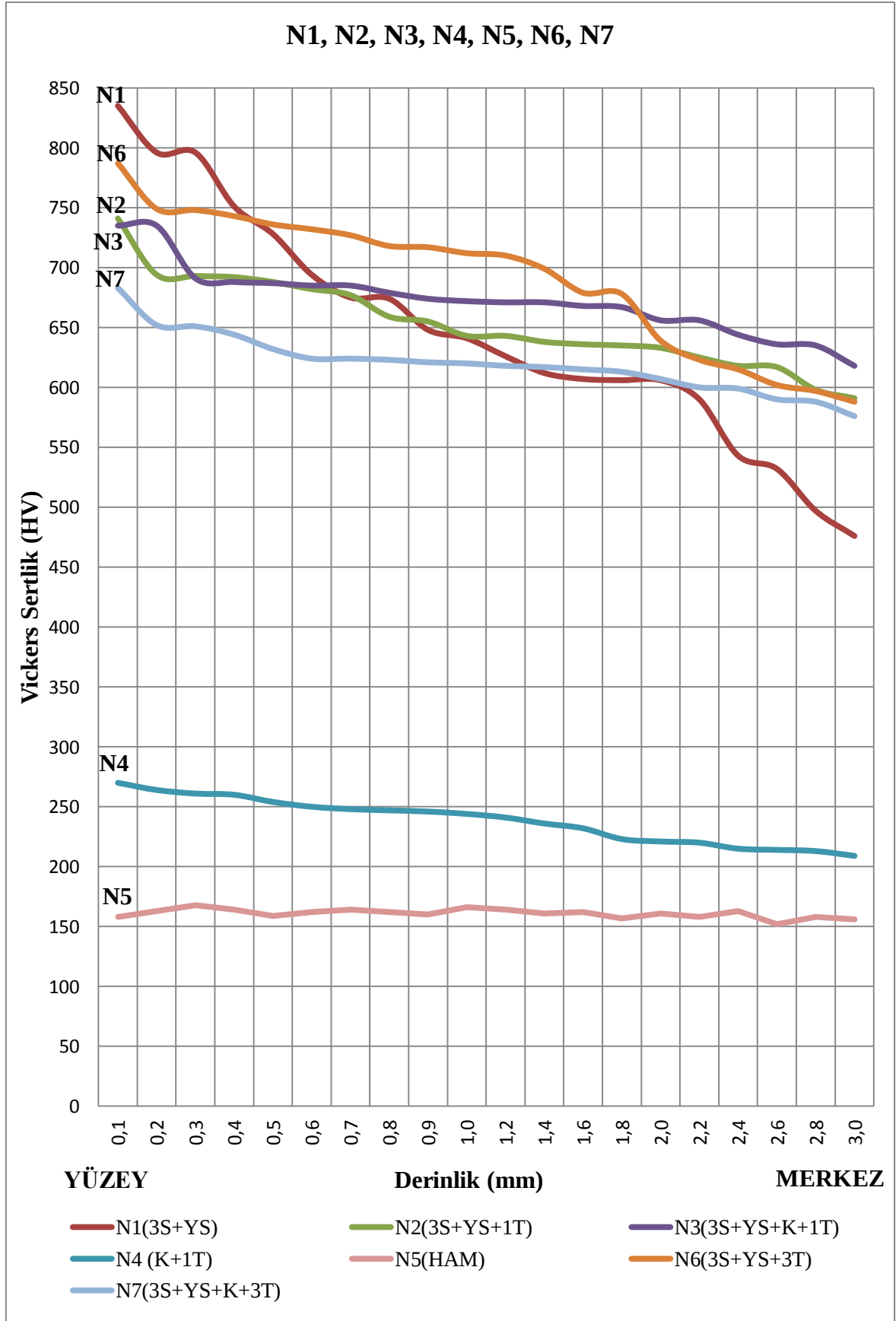
Şekil 6.7. N7(3S+YS+K+3T) numunesi mikrosertlik testi sonucu

7 ayrı kategoride sınıflandırmış olduğumuz SAE 8620 kalite çeliğine ait mikrosertlik değeri ölçümlerinin karşılaştırmalı grafiği Şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.8’de görüldüğü gibi aynı sementasyon sürelerinde fakat kriyojenik işlem uygulanmayan ve uygulanan N2(3S+YS+1T) ile N3(3S+YS+K+1T) numuneleri arasında kriyojenik işleme bağlı olarak kriyojenik işlemin malzemenin merkezine doğru sertlik değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Fakat aynı şartlarda 3 saat temperleme işlemi yapılan N6(3S+YS+3T) ve N7(3S+YS+K+3T) numunelerinde ise kriyojenik işlem yapılmış numunenin mikrosertlik değerleri düşmüş fakat numunenin merkezine doğru mikrosertlik değerinin N6(3S+YS+3T) numunesinde olduğu gibi 200 Vickers mikrosertlik değeri fark oluşmamıştır.

Çizelge 6.2 incelendiğinde dış yüzeyde en yüksek Vickers mikrosertlik değerine 835 HV ile N1(3S+YS) numunesinin sahip olduğu gözükmemektedir. Fakat bu numunenin iç kısmına inildikçe sertlik değerinin 476 HV’ye düştüğü görülmektedir. Buda iç kısım ile dış kısım arasında 359 HV’lik bir fark oluşturmaktadır. Bunun sebebi de numunenin sementasyon

sonrası temperleme yapılmamasından kaynaklıdır. N2(3S+YS+1T) numunesi temperleme yapıldığında ise dış yüzey sertliği 741 HV'ye düşerken iç kısım yani merkezin sertliği 591 HV'ye çıktığı ve dış kısım ile iç kısım arasındaki sertlik farkının 150 HV'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Temperleme işlemi öncesi yapılan 24 saatlik kriyojenik işlemde ise N3(3S+YS+K+1T) numunesinin dış yüzeyinin sertlik değeri 735 HV'ye düşerken, numune merkezinin sertliği 618 HV'ye çıkmış olup farkın 117 HV'ye düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 6.2).

N6(3S+YS+3T) numunesinde ise sementasyon sonrası temperleme süresini arttırıldığında ise dış yüzeyin sertliği 787 HV, iç kısım sertliği ise 588 HV bulunmuş olup iç kısım ile dış kısım arasında 199 HV'lik bir fark vardır. Aynı numuneye temperleme öncesi yapılan kriyojenik işlemde N7(3S+YS+K+3T) numunesi ise dış yüzey sertliği 683 HV, iç kısım sertliği 576 HV bulunmuş iken iç kısım ile dış kısım arasında 107 HV'lik bir fark vardır (Çizelge 6.2).



Şekil 6.8. Mikrosertlik sonuçlarının birleştirilmiş hali

Çizelge 6.2. Mikrosertlik değerlerinin dış ve iç kısma göre ortalama fark değerleri

	Dış Yüzey Vickers Mikrosertlik Değeri (HV)	İç Kısım (Merkez) Vickers Mikrosertlik Değeri (HV)	İç Kısım ile Dış Kısım Arasındaki Fark (HV)
N1(3S+YS)	835	476	359
N2(3S+YS+1T)	741	591	150
N3(3S+YS+K+1T)	735	618	117
N4 (K+1T)	270	209	61
N5(HN)	Ortalama 161		
N6(3S+YS+3T)	787	588	199
N7(3S+YS+K+3T)	683	576	107

6.2. Çekme Deneyi Bulguları

SAE 8620 malzemeye yapılan ısıtıl işlemler sonucunda, parçaların çekme dayanımı değerlerinde nasıl bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.

7 ayrı kategoride sınıflandırmış olduğumuz SAE 8620 kalite çeliğine ait numunelerin deney güvenilirliğini arttırmak amacıyla her kategori için 3 adet çekme numunesi imal edilmiştir. Şekil 6.9., Şekil 6.10. incelendiğinde, A, B, C ile belirtilen adlandırmalar bu üç çekme numunesine aittir.

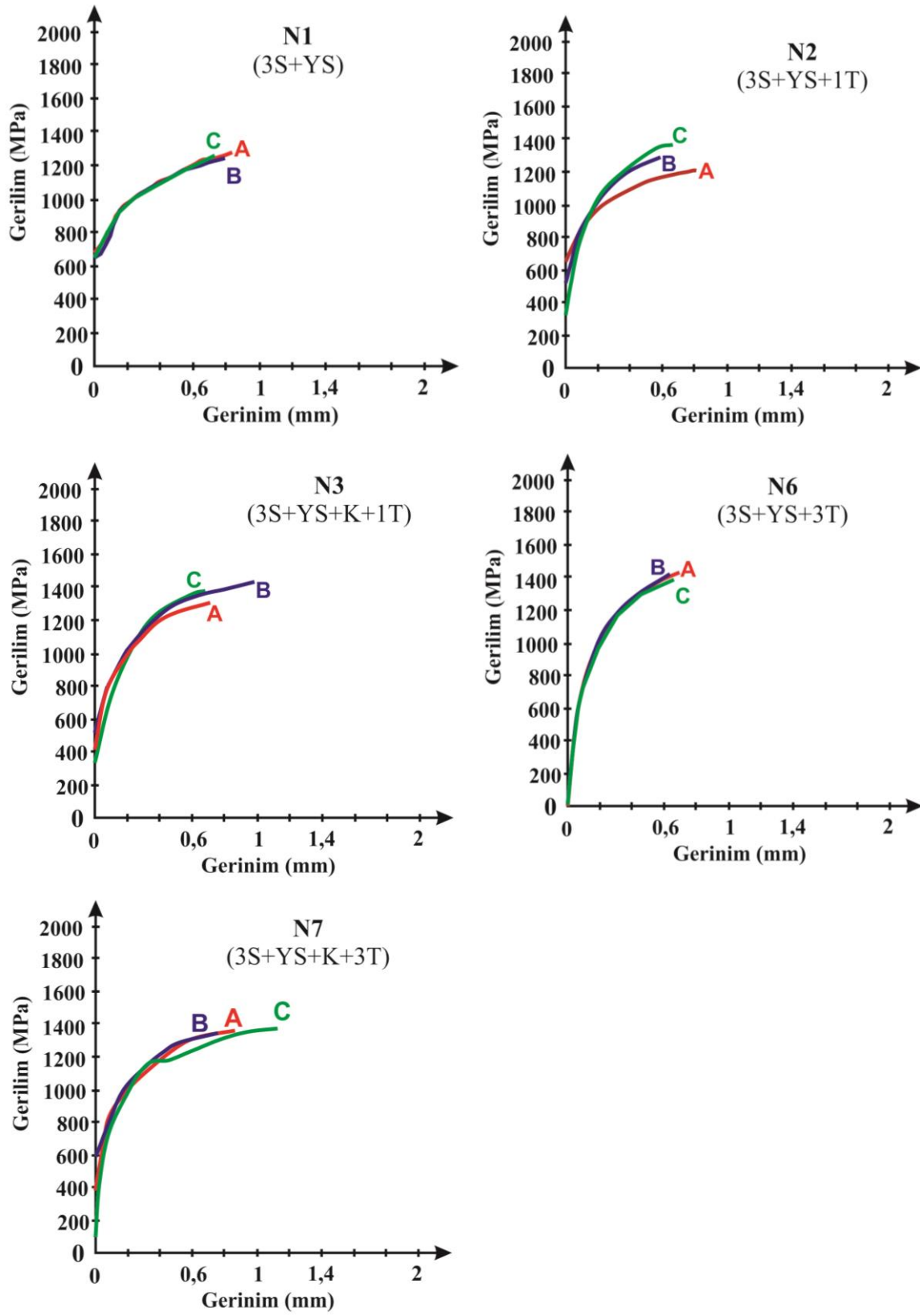
Şekil 6.9'daki N1(3S+YS), N2(3S+YS+1T), N3(3S+YS+K+1T), N6(3S+YS+3T), N7(3S+YS+K+3T)'ye ait numuneler incelendiğinde en yüksek dayanım değerleri 1200 MPa ile 1400 MPa aralığında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.11, Çizelge 6.3). Bu numunelere ait uzama miktarları %1 - %2 arasında değişmektedir.

Şekil 6.10'daki N4 (K+1T) ve N5(HN)'e ait numuneler diğerlerinden ayrı incelenmiştir. Bunun sebebi ise N4 (K+1T) ve N5(HN) numunelerine sementasyon işlemi yapılmadığı için sünekliliği fazladır. Bu numuneler yaklaşık olarak 8 mm civarında uzama göstermiştir. En yüksek kopma dayanımı değerleri 748 MPa civarındadır (Şekil 6.10, Şekil 6.11, Çizelge 5.3).

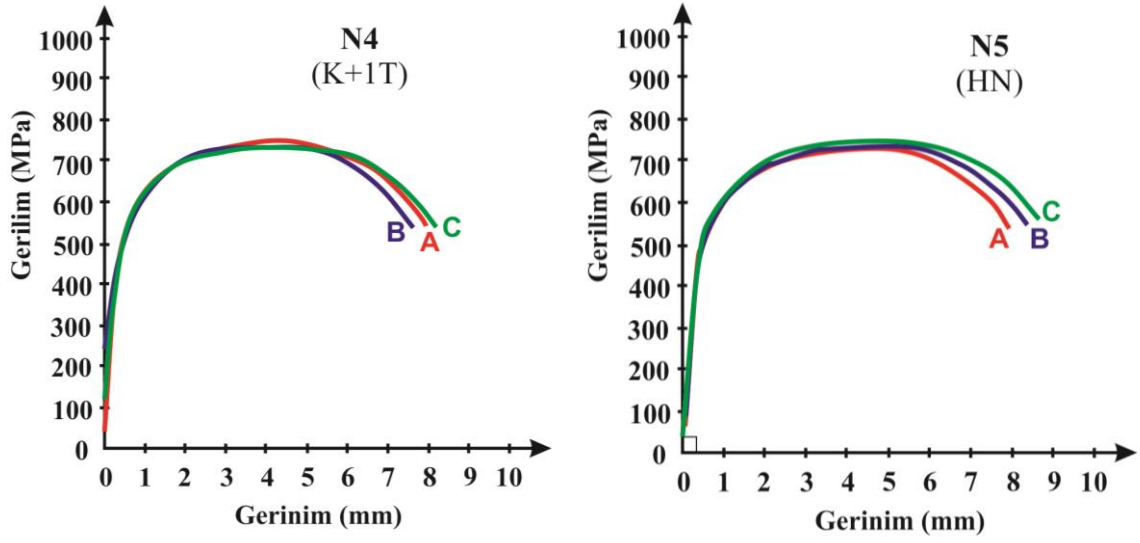
7 ayrı kategoride sınıflandırmış olduğumuz SAE 8620 kalite çeliğine ait tüm numunelerin çekme dayanımı testi verileri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Çekme testi numunelerinin birleştirilmiş verisi

Numune		Çap	Alan	İlk Boy	Son Boy	Maks.	Kopma	Akma	Kopma	Toplam
No		(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	Kuvvet	Sınırı	Sınırı	Uzaması	Uzama
						Fm	Rm	Rt %5	A %5,65	At
						(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)
N1	A	5,950	27,80	34,00	34,60	36,6	1284	957	2,00	2,50
	B	5,950	27,80	34,00	34,50	36	1260	950	1,50	1,50
	C	5,950	27,80	34,00	34,50	35,8	1276	942	1,50	1,50
N2	A	5,950	27,80	34,00	35,40	34,7	1218	959	4,50	4,50
	B	5,950	27,80	34,00	34,40	37	1297	983	1,00	1,50
	C	5,950	27,80	34,00	34,50	39,3	1379	977	1,50	2,00
N3	A	5,950	27,80	34,00	34,50	37,3	1310	963	1,50	2,00
	B	5,950	27,80	34,00	34,70	39,4	1419	972	2,00	3,00
	C	5,950	27,80	34,00	34,40	38,4	1380	949	1,00	2,00
N4	A	5,950	27,80	34,00	--	20,8	748	364	0,00	0,00
	B	5,950	27,80	34,00	--	20,6	741	369	0,00	0,00
	C	5,950	27,80	34,00	--	20,7	744	368	0,00	0,00
N5	A	5,950	27,80	34,00	--	20,4	734	330	0,00	0,00
	B	5,950	27,80	34,00	--	20,4	733	316	0,00	0,00
	C	5,950	27,80	34,00	--	20,6	741	325	0,00	0,00
N6	A	5,950	27,80	34,00	34,40	39,9	1434	951	1,00	2,00
	B	5,950	27,80	34,00	34,40	39,6	1425	977	1,00	2,00
	C	5,950	27,80	34,00	34,40	39,3	1410	958	1,00	2,00
N7	A	5,950	27,80	34,00	34,60	38,2	1373	971	2,00	2,50
	B	5,950	27,80	34,00	34,50	37,8	1360	1002	1,50	2,00
	C	5,950	27,80	34,00	34,90	38,4	1381	928	3,00	3,50

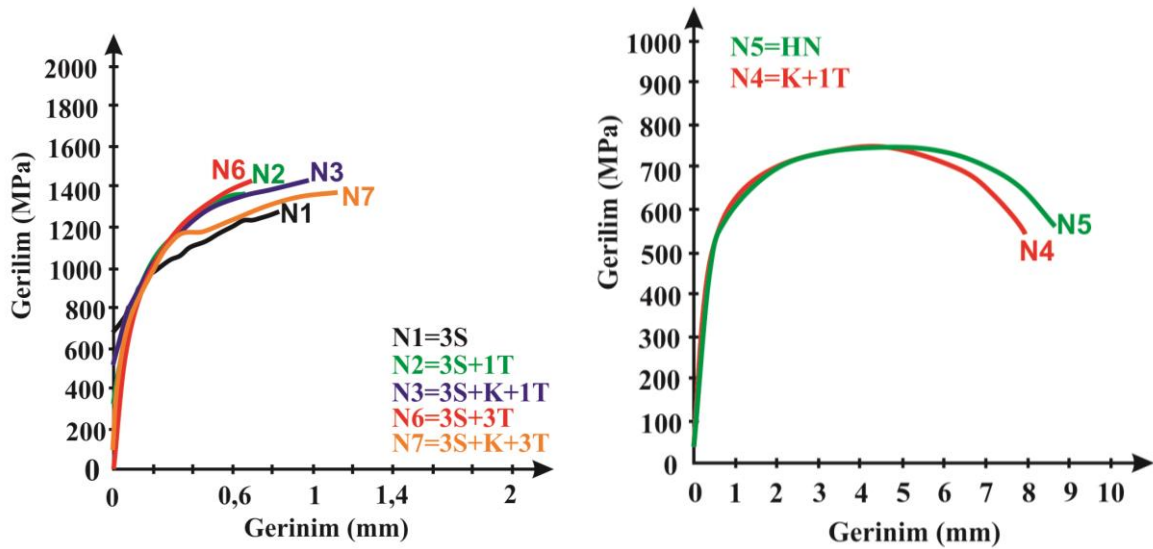


Şekil 6.9. N1, N2, N3, N6, N7'ye ait Çekme dayanımı testi grafiksel sonuçları



Şekil 6.10. N4 ve N5'e ait Çekme dayanımı testi grafiksel sonuçları

Şekil 6.11 incelendiğinde, sementasyon ve sonrasında kriyojenik işlem gören numunelerin sünekliliğinin arttığı gözlemlenmektedir. Fakat N4 (K+1T)'de ham numuneye yapılan kriyojenik işlem ve akabinde yapılan temperleme işlemi numunenin sünekliliğinin diğerlerinin aksine azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 6.11. Çekme testi sonuçlarına göre numunelerin en yüksek değerlerinin karşılaştırma grafiği

Çizelge 6.4 incelendiğinde N1(3S+YS) olarak adlandırılan sementasyon ve temperleme işlemi yapılan numunenin ortalama akma dayanımı 950 MPa, kopma dayanımı ise

ortalama 1273 MPa olduğu gözlemlenmiştir. Aynı numuneye 1 saat temperleme yapıldıktan sonra akma dayanımı ortalama 973 MPa, kopma dayanımı ise ortalama 1298 MPa'ya çıktığı görülmektedir. Temperleme öncesi kriyojenik işlem yapılan numunede ise (N3) akma dayanımı ortalama 961 MPa'ya düştüğü, kopma dayanımının ise ortalama 1370 MPa'ya çıktığı gözlemlenmiştir.

Sementasyon sonrası temperleme işlemini 3 saate çıkarttığımızda (N6) ise akma dayanımı çok etkilenmeyerek ortalama 962 MPa seviyelerinde iken kopma dayanımı ortalama 1423 MPa ölçülmüştür. Bu numuneye temperleme öncesi yapılan kriyojenik işlemde (N7) ise akma dayanımı çok etkilenmeyerek ortalama 967 MPa seviyelerinde iken kopma dayanımı ortalama 1371 MPa'ya düşmüştür (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. Numunelerin ortalama akma ve kopma dayanımı

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
Kopma Dayanımı, Rm (N/mm ²)	1273	1298	1370	744	736	1423	1371
Akma Dayanımı, Rt %5 (N/mm ²)	950	973	961	367	324	962	967

6.3. Kalıntı Gerilmesi Deney Bulguları

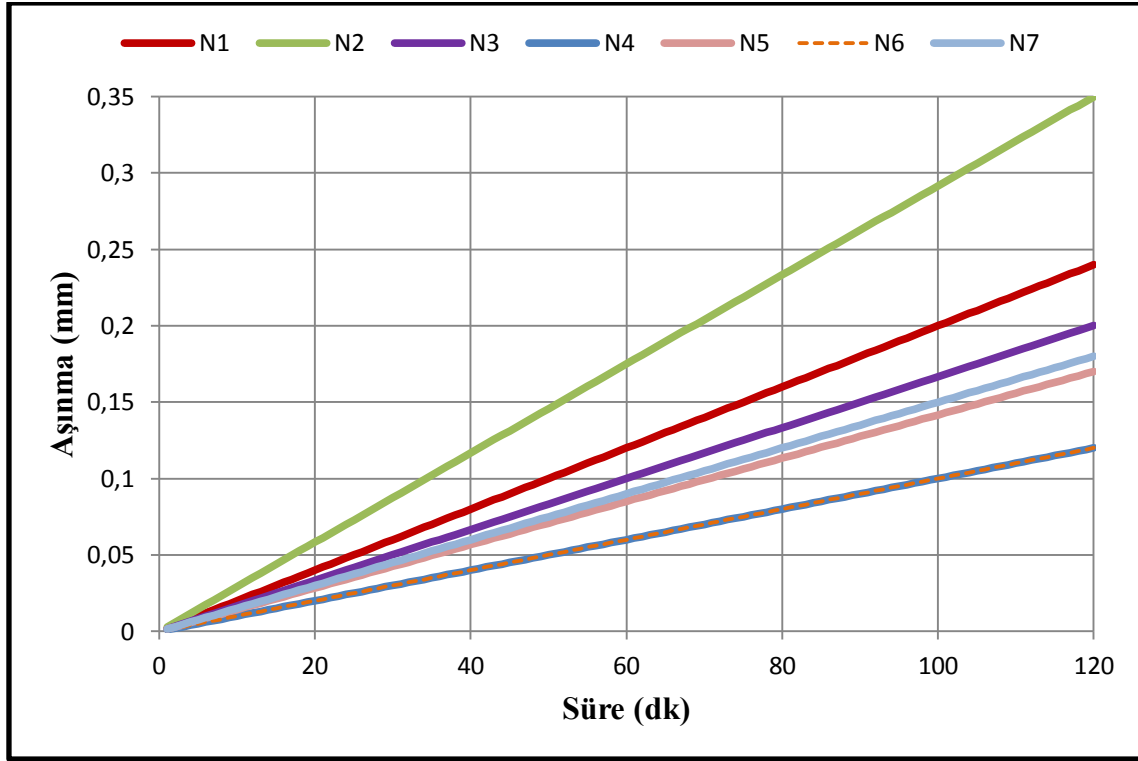
7 ayrı kategoride sınıflandırılan numunelerin katman kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmesi grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler kalıntı gerilmelerin derinliğe bağlı olan değişimini göstermektedir (Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19).

Yapılan deneyler sonucunda tespit edilen kalıntı gerilmesi numuneleri normalize edilerek kalıntı gerilmesi grafikleri oluşturulmuştur.

Numunelerin 2 saatlik deney süresince, deney öncesi ve deney sonrası aşınma miktarı ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu iki saatlik süre için her bir numuneden kalkan katman miktarı ve ortalama aşınma miktarları Çizelge 6.5'te verilmiştir (Şekil 6.12).

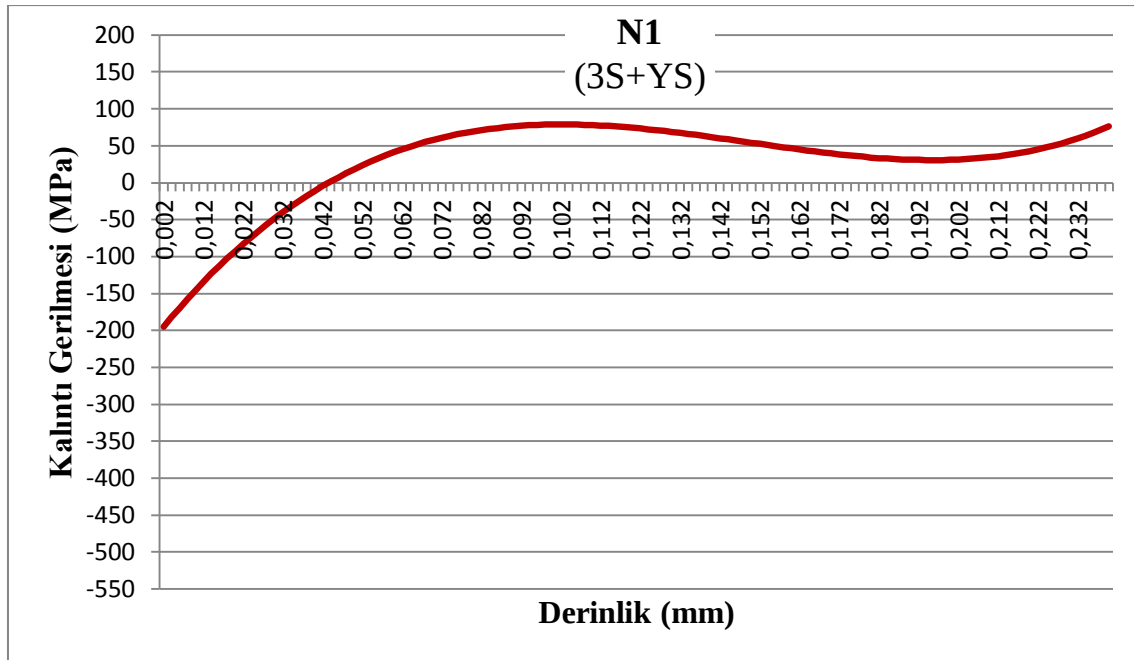
Çizelge 6.5. Numunelerin geometrik ölçüleri

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
Başlangıç Ölçüsü (Ø)	6,01	5,95	6,00	5,98	6,02	5,97	6,00
Bitiş Ölçüsü	5,77	5,60	5,80	5,86	5,85	5,85	5,82
Toplam Aşınma Miktarı (mm)	0,24	0,35	0,20	0,12	0,17	0,12	0,18
Ortalama Aşınma Miktarı (dk)	0,00200	0,00292	0,00167	0,00100	0,00142	0,00100	0,00150



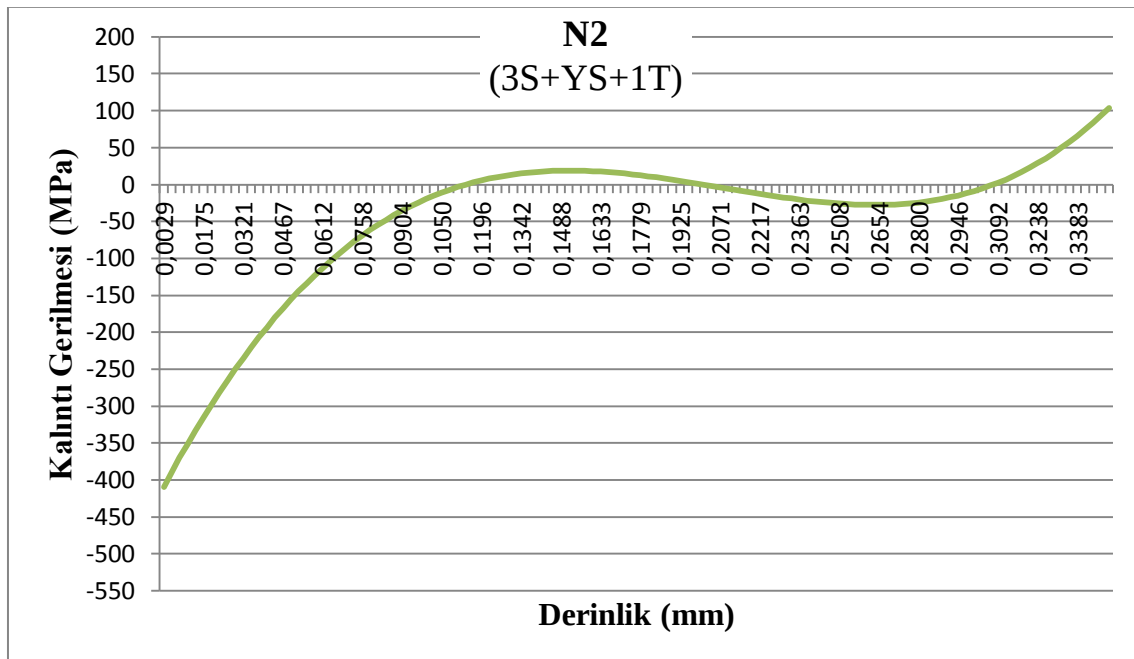
Şekil 6.12. Dakikada kaldırılan katman mesafesi

Sadece sementasyon işlemi yapılan N1 (3S+YS) numunesinin dış yüzeyinde -194 MPa'lık basma yönünde kalıntı gerilmesi, numunenin merkezine gittikçe gerilmeler basma gerilmesi yönünde 78 MPa seviyesine çıktığı gözlemlenmektedir (Şekil 6.13).



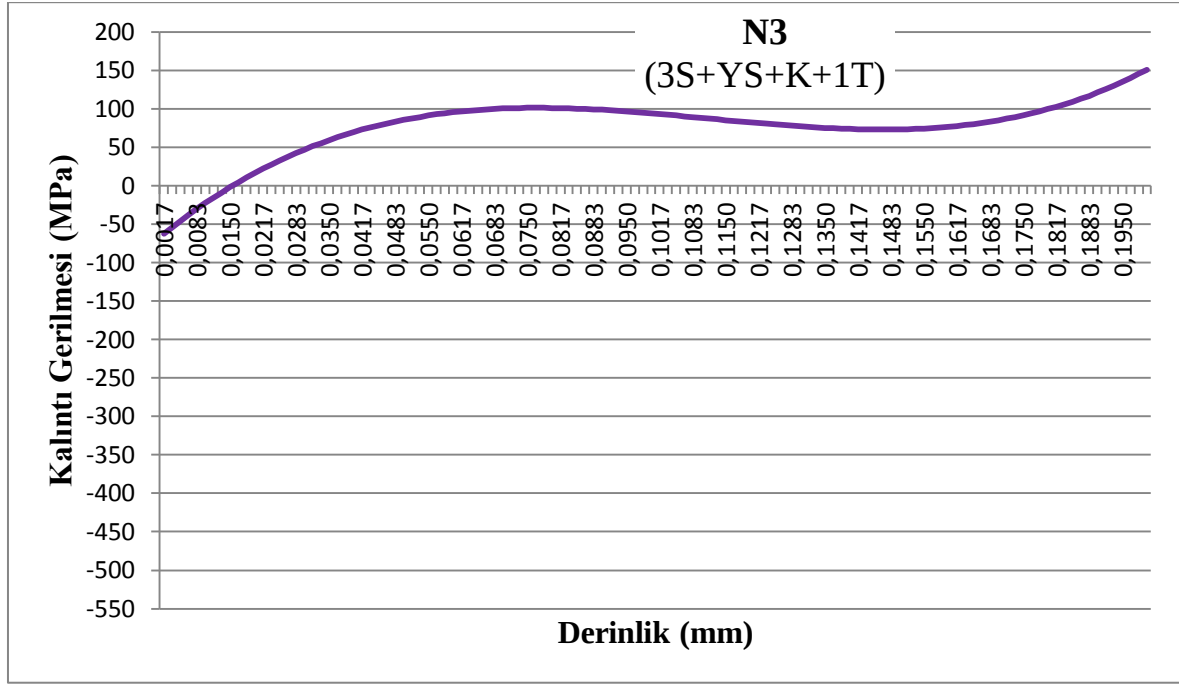
Şekil 6.13. N1(3S+YS) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

N2(3S+YS+1T) numunesinin dış yüzeyindeki gerilmelerin basma yönünde -409 MPa olduğu görülmektedir. N2’de yapılan temperleme işleminden kaynaklı numunenin merkezine inildikçe 103 MPa’lık çekme gerilmesinin oluştuğu görülmektedir. Sonrasında gerilmeler çekme yönünde hareket etmektedir (Şekil 6.14).



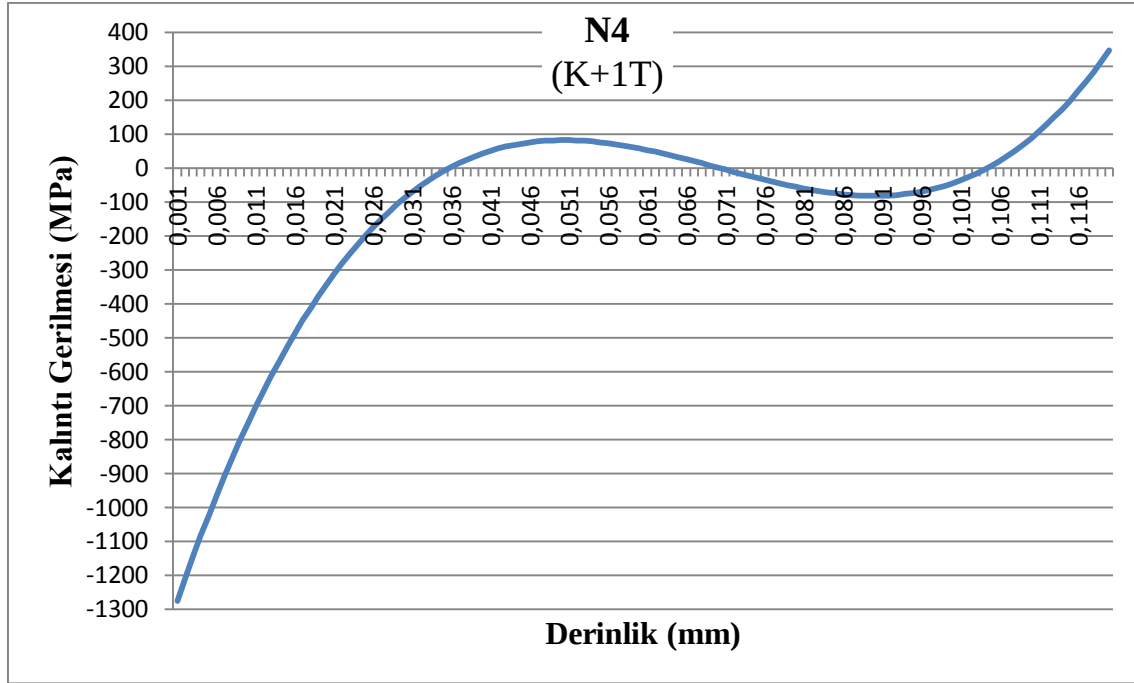
Şekil 6.14. N2(3S+YS+1T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

N3 (3S+YS+K+1T) numunesi, N2(3S+YS+1T) numunesine göre 1 saatlik temperleme öncesi arada yapılan -145 °C’de 24 saatlik kriyojenik işlemin, numunenin dış yüzeyindeki kalıntı gerilmeleri çekme yönünde hareket ettirerek -62 MPa basma gerilmesi meydana gelmiştir. Numunenin merkezine doğru kriyojenik işleminden dolayı 150MPa seviyelerine kadar çıkmıştır (Şekil 6.15).



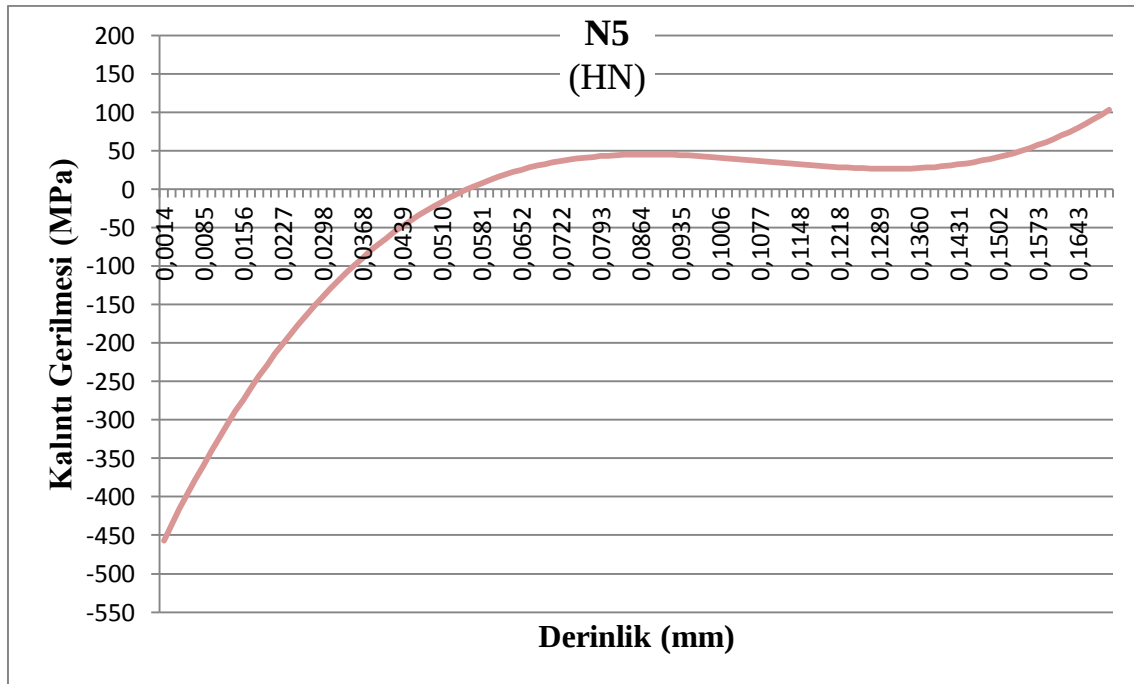
Şekil 6.15. N3(3S+YS+K+1T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

N4(K+1T)’de ise malzemenin dış yüzeyindeki basma gerilmesinin -1276 MPa seviyelerinde olduğu Şekil 6.16’da görülmektedir. Bunun sebebinin ham numuneye sementasyon işlemi yapılmadan kriyojenik işlem yapıldığından dolayı gerilmelerin baskı yönünde arttığı gözlemlenmiştir.



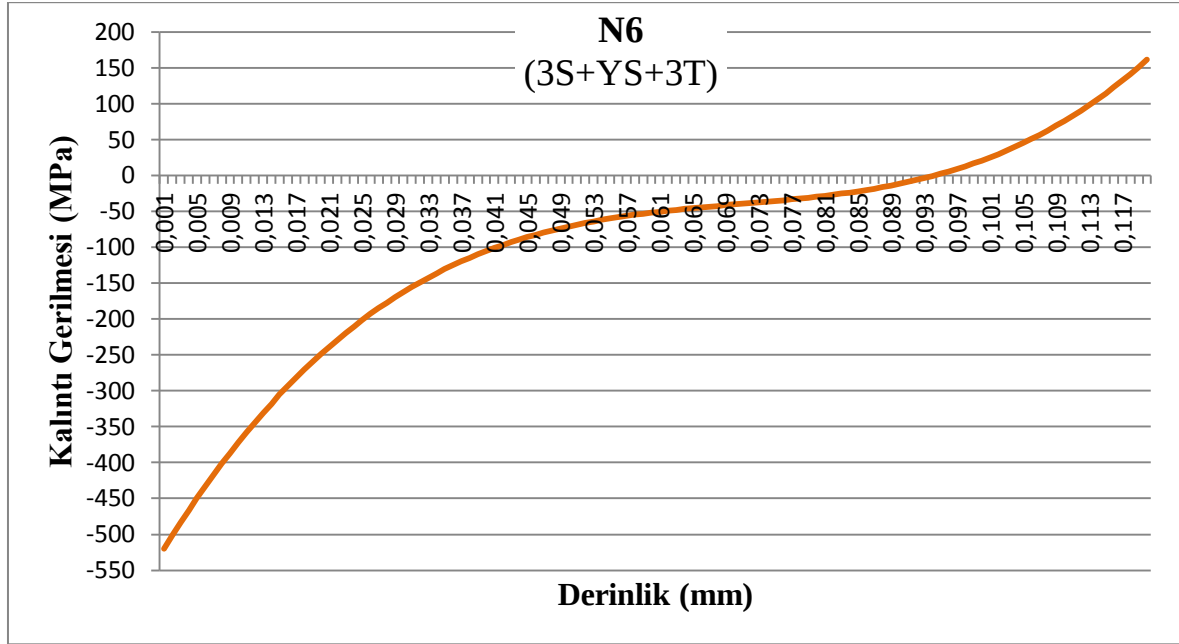
Şekil 6.16. N4(K+1T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

Ham numuneye (N5) ait kalıntı gerilmesi grafiği Şekil 6.17’de verilmiştir. Burada dış yüzeydeki baskı gerilmesinin -456 MPa seviyelerinde olduğu görülmektedir.



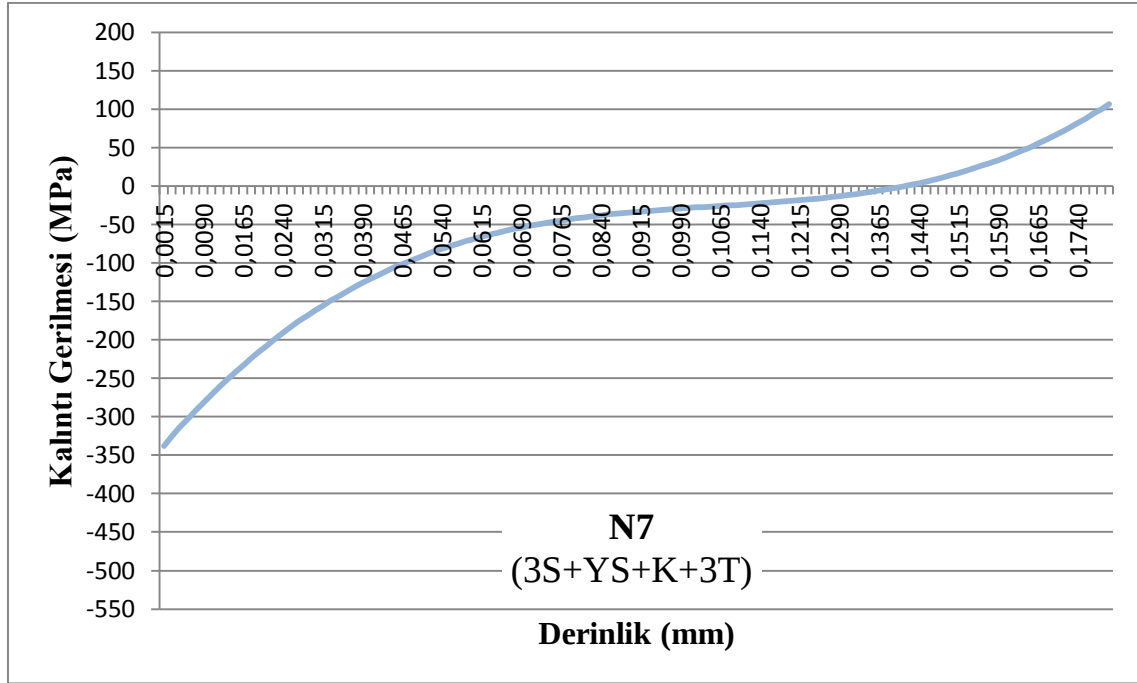
Şekil 6.17. N5(HN) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

N6(3S+YS+3T) numunesinde sementasyon sonrası yapılan temperleme işleminde süre arttırıldığında numunenin dış yüzeyindeki gerilmelerin basma gerilmesi yönünde arttığı görülmektedir. N6(3S+YS+3T) numunesinin dış yüzeyindeki basma gerilmesi -520 MPa'dan başlamış numune merkezine inildikçe 161 MPa çekme gerilmesi seviyelerine çıkmıştır (Şekil 6.18).



Şekil 6.18. N6(3S+YS+3T) numunesinde oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

N7'de 3 saat temperleme işlemi öncesi yapılan 24 saatlik kriyojenik işlem yapıldığında, malzemenin dış yüzeyindeki gerilmelerin basma gerilmesi -337 MPa seviyelerinde olduğu Şekil 6.19'da görülmektedir. Şekil 6.19'da incelendiğinde numunenin merkezine doğru gerilmelerin 106 MPa seviyelerinde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.19. N7(3S+YS+K+3T)'da oluşan kalıntı gerilmesi dağılımı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sementasyon, kriyojenik ve temperleme işlemi SAE 8620 kalite çeliğe uygulaması yapılarak, mikrosertlik, çekme dayanımı, ve kalıntı gerilmelerinin incelenmesine yönelik yürütülen çalışma sonunda aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

7.1. Vickers Mikrosertlik (HV) Değeri Sonuçları

- 1- N5(HN) numunesinde ortalama Vickers mikrosertlik değeri 161 HV ölçülmüştür (Çizelge 7.1, Şekil 6.5).
- 2- N4(K+1T) numunesinin mikrosertlik testi sonunda ham numuneye (N5) göre 24 saatlik kriyojenik işlem ile, numunenin dış yüzeyinde 161 HV'den 270 HV mikrosertlik değerine yükselterek %67'lik iyileşme sağlanmıştır. Numune merkezinde ise %30'luk bir artışla 209 HV mikrosertlik değeri ölçülmüştür (Çizelge 7.1, Şekil 6.4).
- 3- N1(3S+YS) numunesinin dış yüzeyindeki sertliğinde 835 HV mikrosertlik değeri ile diğer numunelere göre en yüksek değerdedir. Ham numuneye (N5) göre 3 saatlik sementasyon işlemi ile, %415'lik iyileşme sağlanmıştır. Burada, N1(3S+YS) numunesinde temperleme işlemi yapılmadığı için numune merkezinde 476 HV mikrosertlik değeri ile ham numuneye göre %195'lik bir artış sağlansa da, N4 ve N5 numuneleri haricinde en düşük sertlik değeri olduğu gözlenmektedir. Bu da gösteriyor ki numunenin merkezi ile yüzeyi arasında 359 HV'lik mikrosertlik farkı oluşmuştur. Bu durum numune açısından çok istenilen bir durum değildir. Darbelere karşı çok dayanıklı olmadığını göstermektedir. Dışarıdan gelen darbelerde numunenin iç kısmında mikro çatlaklara yol açmasına sebebiyet verebilir (Çizelge 7.1, Şekil 6.1).
- 4- N2(3S+YS+1T) numunesinin dış yüzeyindeki sertlik N1(3S+YS) numunesine göre 1 saatlik temperleme ile, 94 HV'lik bir düşüş yaparak %12 azalarak 741 HV mikrosertlik değerine gerilemiş, fakat numune merkezinde 591 HV'lik mikrosertlik değeri ile %24 artarak yüzeyle numunenin merkezi arasında farkın N1(3S+YS) numunesindeki gibi 359 HV yerine temperleme işleminin etkisiyle 150 HV'ye düştüğü

görülmüştür. Bu durum numunenin merkezi ile yüzeyi arasındaki farkı azaltarak kararlı yapıya dönmesini sağlamıştır (Çizelge 7.1, Şekil 6.2).

- 5- N3(3S+YS+K+1T) numunesinin dış yüzeyindeki sertlik N2(3S+YS+1T) numunesine göre 24 saatlik kriyojenik işlem ve akabinde yapılan 1 saatlik temperleme işlemi ile, 6 HV'lık bir düşüş yaparak ve %1 azalmış 735 HV mikrosertlik değeri ile çok fazla bir değişiklik göstermemiştir. Fakat numune merkezinde 618 HV'lık mikrosertlik değeri ile %5 artarak yüzeyle numunenin merkezi arasında farkın N2(3S+YS) numunesindeki gibi 150 HV yerine kriyojenik işleminin etkisiyle 117 HV'ye düştüğü görülmüştür. Bu durum numunenin merkezi ile yüzeyi arasındaki farkı daha da azaltarak daha kararlı yapıya dönmesini sağlamıştır (Çizelge 7.1, Şekil 6.3).
- 6- N6(3S+YS+3T) numunesinin dış yüzeyindeki sertlik N2(3S+YS+1T) numunesine göre temperleme süresini 1 saatten 3 saate çıkararak, 46 HV fark ile %6'lık bir artış sağlayarak 787 HV mikrosertlik değerine yükselmiş fakat numune merkezinin sertlik değerinde %0,5 düşerek 588 HV'lık mikrosertlik değerine ulaşmıştır. Numune yüzeyi ile merkezi arasındaki N2(3S+YS+1T) numunesine göre fark 199 HV'ye yükselmiştir. Bunun sebebi ise yüzeyde sertlik değerinin artıp merkezinde ise değişiklik göstermemesidir. Sonuç olarak temperleme süresinin artması numune yüzeyindeki mikrosertlik değerinde artış sağlamıştır (Çizelge 7.1, Şekil 6.6).
- 7- N7(3S+YS+K+3T) numunesinin dış yüzeyindeki sertlik N3(3S+YS+K+1T) numunesine göre temperleme süresini 1 saatten 3 saate çıkararak, 42 HV ile %7 düşerek 683 HV mikrosertlik değerindedir. Aynı şekilde numune merkezinin sertlik değerinde %7'lik düşüş göstererek 576 HV'lık mikrosertlik değerine sahiptir. Sonuç olarak kriyojenik işlem sonrası temperleme süresinin artması numune yüzeyindeki mikrosertlik değerinde bir katkı sağlamamıştır (Çizelge 7.1, Şekil 6.7).

Çizelge 7.1. Mikrosertlik değerlerinin numunelere göre karşılaştırmalı artış oranları

Vickers Mikrosertlik (HV)				
	Sementasyon (3 Saat)	Kriyojenik İşlem (24 Saat)	Temperleme (1 Saat)	Temperleme (3 Saat)
N5	Ham Numune (161 HV)			
N4	-	+ (N5'e göre yüzeyi %67 artmış, merkezinde %30 artmış)	+	-
N1	+ (N5'e göre yüzeyi %419 artmış, merkezinde %195 artmış)	-	-	-
N2	+	-	+ (N1'e göre yüzeyi %12 azalmış, merkezinde %24 artmış)	-
N3	+	+ (N2'e göre yüzeyi %1 azalmış, merkezinde %5 artmış)	+	-
N6	+	-	-	+ (N2'e göre yüzeyi %6 artmış, merkezinde %0,5 azalmış)
N7	+	+ (N3'e göre yüzeyi %7 azalmış, merkezinde %7 azalmış)	-	+

7.2. Çekme Testi Sonuçları

- 1- N5(HN) ham numunesine yapılan çekme testi sonucunda, 736 MPa kopma dayanımı (Rm), 324 MPa akma dayanımı (Rt) değeri ölçülmüştür (Çizelge 7.2, Şekil 6.10).
- 2- N4(K+1T) numunesinin N5(HN) ham numuneye göre 24 saatlik kriyojenik işlem ve akabinde yapılan 1 saatlik temperleme işlemi ile, kopma dayanımında (Rm) 744 MPa ile %1'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Akma dayanımında (Rt) ise 367MPa ile %13 bir iyileşme sağlanmıştır (Çizelge 7.2, Şekil 6.10).
- 3- N1(3S+YS) numunesinin çekme testi sonucu, N5(HN) numunesine göre 3 saatlik sementasyon ile kopya ve akma dayanımında ciddi bir artış gözlenmiştir ki buda beklenen bir durumdur. N1(3S+YS) numunesinin kopma dayanımı N5 numunesine göre %73 artarak 1273 MPa, akma dayanımı ise %193 artarak 950 MPa'lık dayanım değerine ulaşılmıştır (Çizelge 7.2, Şekil 6.9).

- 4- N2(3S+YS+1T) numunesinin çekme testi sonucu, N1(3S+YS) numunesine göre 1saatlik temperleme ile, kopma dayanımında 25 MPa'lık (%2) bir artışla 1298 MPa'a yükselmiştir. Aynı şekilde akma dayanımında da 23 MPa'lık (%2) bir artışla 973 MPa'a çıkmıştır. Bu durum temperleme işleminin dayanım değerlerine iyi yönde katkı sağladığını göstermektedir (Çizelge 7.2, Şekil 6.9).
- 5- N3(3S+YS+K+1T) numunesinin çekme testi sonucu, N2(3S+YS+1T) numunesine göre 1 saatlik temperleme işleminden öncesi arada yapılan 24 saatlik kriyojenik işlem ile, kopma dayanımında 72 MPa'lık (%5) bir artışla 1370 MPa'a yükselmiştir. Akma dayanımında ise 8 MPa'lık (%2) bir düşüşle 961 MPa'a inmiştir. Bu durum gösteriyorki kriyojenik işlemin kopma dayanım değerlerine iyi yönde katkı sağladığı akma dayanımında ise çok önemsenmeyecek bir düşüş gösterdiği söylenebilir (Çizelge 7.2, Şekil 6.9).
- 6- N6(3S+YS+3T) numunesinin çekme testi sonucu, N2(3S+YS+1T) numunesine göre temperleme süresini 1 saatten 3 saate çıkararak, kopma dayanımında 125 MPa'lık (%9) bir artışla 1423 MPa'a yükselmiştir. Bu aynı zamanda 7 ayrı kategoride sınıflandırılan numuneler arasında en yüksek kopma dayanımı değeridir. Fakat akma dayanımında N2(3S+YS+1T) numunesine göre 11 MPa'lık (%1) bir düşüşle 962 MPa olarak ölçülmüştür. Bu durumda temperleme süresinin arttırılması kopma dayanımında iyileşme sağladığı görülmüştür (Çizelge 7.2, Şekil 6.9).
- 7- N7(3S+YS+K+3T) numunesinin çekme testi sonucu, N3(3S+YS+K+1T) numunesine göre temperleme süresini 1 saatten 3 saate çıkararak, kopma dayanımında %0,01 yüzde ile değişiklik göstermeyerek 1371 MPa seviyesindedir. Akma dayanımı içinde aynı durum sözkonusudur, N2(3S+YS+1T) numunesine göre %0,5 yüzde ile değişiklik göstermeyerek 967 MPa olarak ölçülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası temperleme süresinin arttırılması kopma ve akma dayanımı açısından değişiklik gözlenmemiştir (Çizelge 7.2, Şekil 6.9).

Çizelge 7.2. Çekme testi sonuçları

Çekme Gerilmesi (MPa)				
	Sementasyon (3 Saat)	Kriyojenik İşlem (24 Saat)	Temperleme (1 Saat)	Temperleme (3 Saat)
N5	Ham Numune, Rm=736MPa, Rt=324MPa			
N4	-	+ (N5'e göre Rm %1 artmış, Rt %13 artmış)	+	-
N1	+ (N5'e göre Rm %73 artmış, Rt %193 artmış)	-	-	-
N2	+	-	+ (N1'e göre Rm %2 artmış, Rt %2 artmış)	-
N3	+	+ (N2'e göre Rm %5 artmış, Rt %2 azalmış)	+	-
N6	+	-	-	+ (N2'e göre Rm %9 artmış, Rt %1 azalmış)
N7	+	+ (N3'e göre Rm %0,01 artmış, Rt %0,5 artmış)	-	+

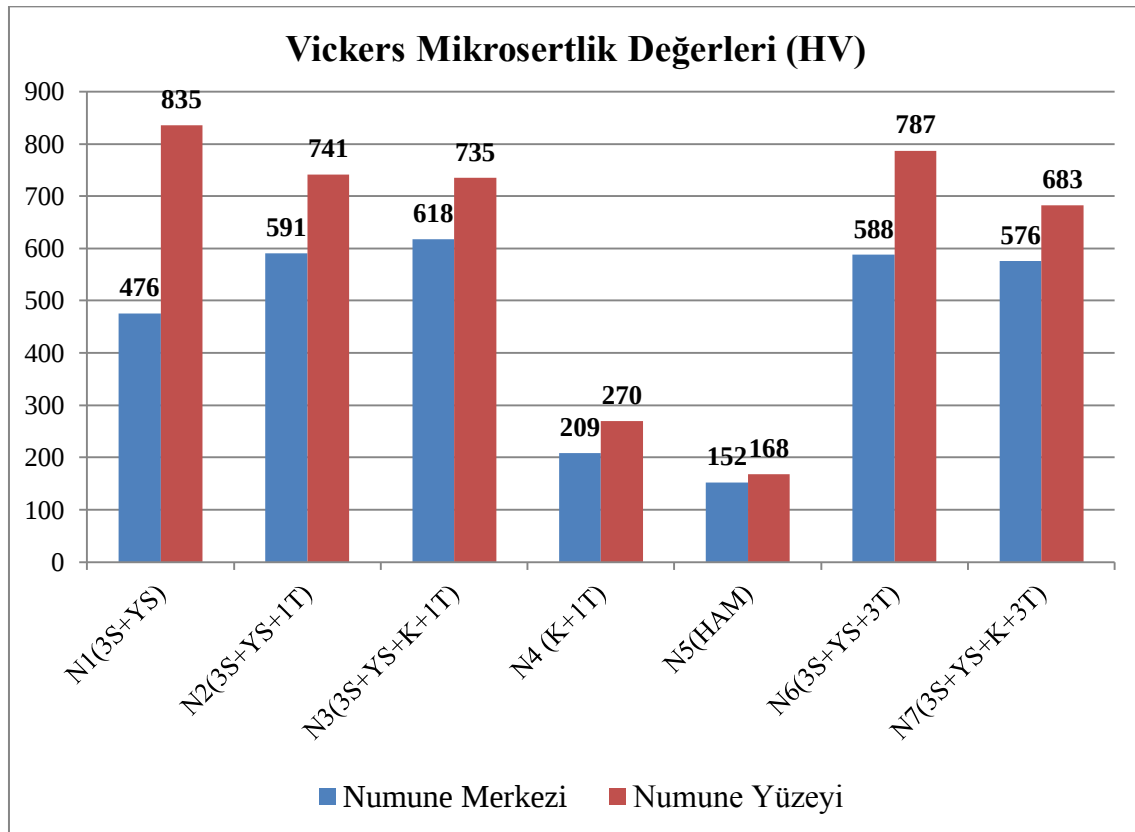
7.3. Kalıntı Gerilmesi Sonuçları

- 1- N5(HN) ham numunesine uygulanan talaş kaldırma işlemleri yüksek seviyede (-456 MPa) basma gerilmesi oluşturduğu görülmektedir. Bunun sebebinin tornalama işleminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.17).
- 2- N4(K+1T) numunesi, N5(HN) ham numunesine uygulanan 24 saatlik kriyojenik işlem ve sonrasındaki 1 saatlik temperleme işlemi ile gerilmeler basma gerilmesi yönünde artarak numunenin dış yüzeyinde -1276 MPa seviyelerine çıkarak gerilmelerin artmasına neden olmuştur. Bu değer akma dayanımı üzerinde bir değer olarak görülmekte ve burada kalıntı gerilme ölçümünde deney esnasında yapılan bir hatadan kaynaklı olabileceği söylenebilir (Şekil 6.16).

- 3- N1(3S+YS) numunesi, N5(HN) ham numuneye uygulanan 3 saatlik sementasyon ve yağda soğutma işlemi numuneler üzerinde oluşan gerilmeleri pozitif yönde etkileyerek N1(3S+YS) numunesinin dış yüzeyindeki gerilme -457 MPa seviyesinden 262 MPa'lık farkla -194 MPa seviyelerine gelerek gerilmeler azalsada basma gerilmesi yönünde olduğu görülmektedir (Şekil 6.13).
- 4- N2(3S+YS+1T) numunesinde, N1(3S+YS) numunesine göre 1 saatlik temperleme ile N2(3S+YS+1T) numunesinin dış yüzeyindeki basma gerilmelerin -194 MPa seviyelerinden -409 MPa seviyelerine getirdiği görülmüştür. Böylelikle N1(3S+YS) numunesine göre 215 MPa'lık farkla gerilmelerin arttığı görülmüştür (Şekil 6.14).
- 5- N3(3S+YS+K+1T) numunesinde, N2(3S+YS+1T) numunesine göre 1saatlik temperleme işlemi öncesi arada yapılan 24 saatlik kriyojenik işlem ile N3(3S+YS+K+1T) numunesinin dış yüzeyindeki basma gerilmelerini azaltarak -410MPa seviyesinden -62 MPa seviyesine getirmiştir (Şekil 6.15).
- 6- N6(3S+YS+3T) numunesinde N2(3S+YS+1T) numunesine göre temperleme süresini 1 saatten 3 saate çıkararak N6(3S+YS+3T) numunesinin dış yüzeyindeki basma gerilmelerinin arttığı gözlemlenmiştir. N2(3S+YS+1T) numunesindeki gerilme -409 MPa (numunenin dış yüzeyinde) iken aynı şartlarda sadece temperleme süresinin uzatılması ile -520 MPa (numunenin dış yüzeyinde) basma gerilmesinin oluştuğu görülmüştür (Şekil 6.18).
- 7- N7(3S+YS+K+3T) numunesinde N3(3S+YS+K+1T) numunesine göre temperleme süresini 1 saatten 3 saate çıkararak, N7(3S+YS+K+3T) numunesinin dış yüzeyindeki basma gerilmelerini arttığı gözlemlenmiştir. N3(3S+YS+K+1T) numunesindeki gerilme -62 MPa (numunenin dış yüzeyinde) iken aynı şartlarda sadece temperleme süresinin uzatılması ile -337 MPa (numunenin dış yüzeyinde) basma gerilmesi seviyesine getirdiği gözlemlenmiştir (Şekil 6.19).

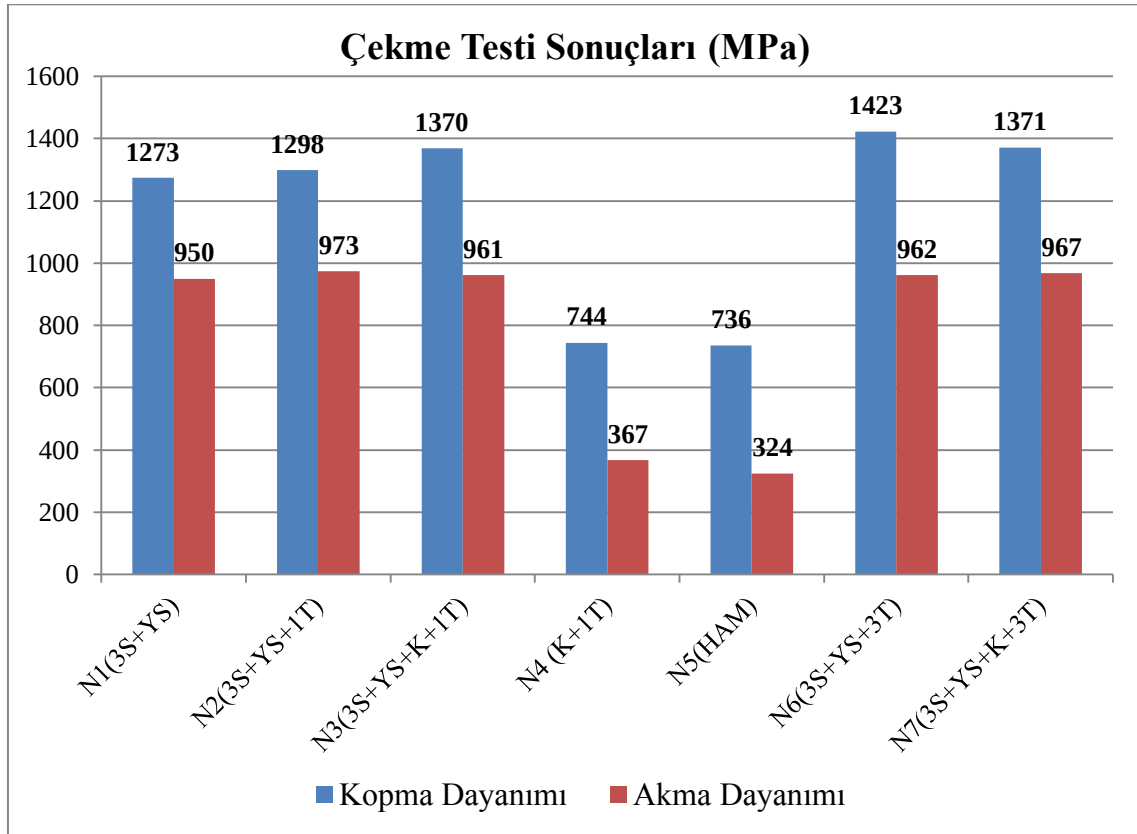
7.4. Yorumlar

- 1- Mikrosertlik sonuçları açısından numunenin dış yüzeyinde N1(3S+YS) numunesinde en yüksek seviyeye ulaşmış olsa da kriyojenik işlem uygulanmış ve sonrasında 1 saat temperleme yapılmış olan N3(3S+YS+K+1T) numunesinin daha kararlı bir yapıda olduğunu ve numune yüzeyinde 735 HV mikrosertlik değeri ile merkezinde ise 618 HV mikrosertlik değeri arasında çok fazla bir fark olmadığı için kriyojenik işlemin mikrosertlik değerleri üzerinde azda olsa iyi yönde bir katkı sağladığı düşünülmektedir. Kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin sertlikleri, klasik ısıtıl işlem uygulanmış numunenin sertliğinden daha düşüktür. Sementasyon sonrası yapılan 1 saatlik temperleme işlemi ve sementasyon sonrası yapılan kriyojenik işlemi takiben yapılan 1 saatlik temperleme işlemi numunenin yüzey sertliğini düşürse de, numunenin merkezinde sertliği artırarak numunenin daha kararlı bir hale gelmesine neden olmaktadır. Kriyojenik işlem sonrası temperleme süresi arttırıldığında ise aynı durum söz konusu değildir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Vickers mikrosertlik değerlerinin numune yüzeyi ve merkezine göre karşılaştırılması (HV)

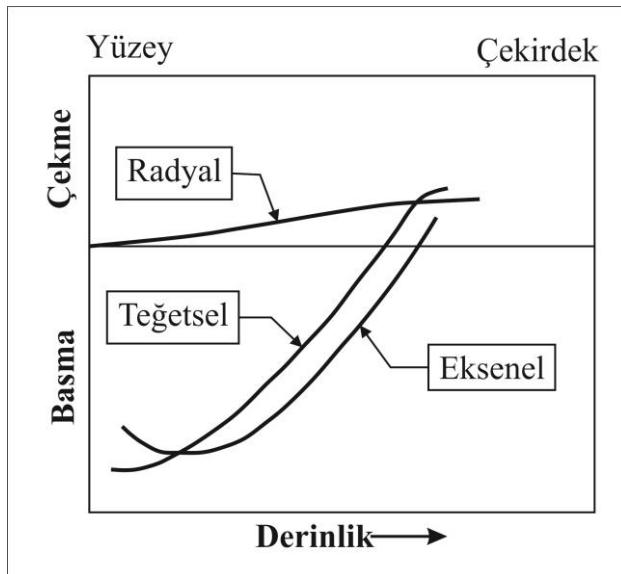
- 2- Çekme testi sonuçları açısından en yüksek kopma dayanım değeri 1423 MPa ile N6(3S+YS+3T) numunesine ait olduğu bilinmektedir. Daha sonra sırasıyla, kriyojenik işlem yapılmış, 3 saatlik temperleme değeri 1371 MPa ile N7(3S+YS+K+3T) numunesine, 1 saatlik temperleme süresinde kopma dayanımı değeri, 1370 MPa ile N3(3S+YS+K+1T) numunesine aittir. Kriyojenik işlem sonrası temperleme süresinin arttırılması kopma dayanımına katkısı olmadığı N3(3S+YS+K+1T) ve N7(3S+YS+K+3T) numunesi değerlerine bakıldığında görülmektedir. Akma dayanımında ise numuneler arasında çok fazla bir değişim görülmemiştir. Sonuç olarak kriyojenik işlemin kopma dayanımına çok fazla olmasada kayda değer bir katkı sağladığı söylenebilir.



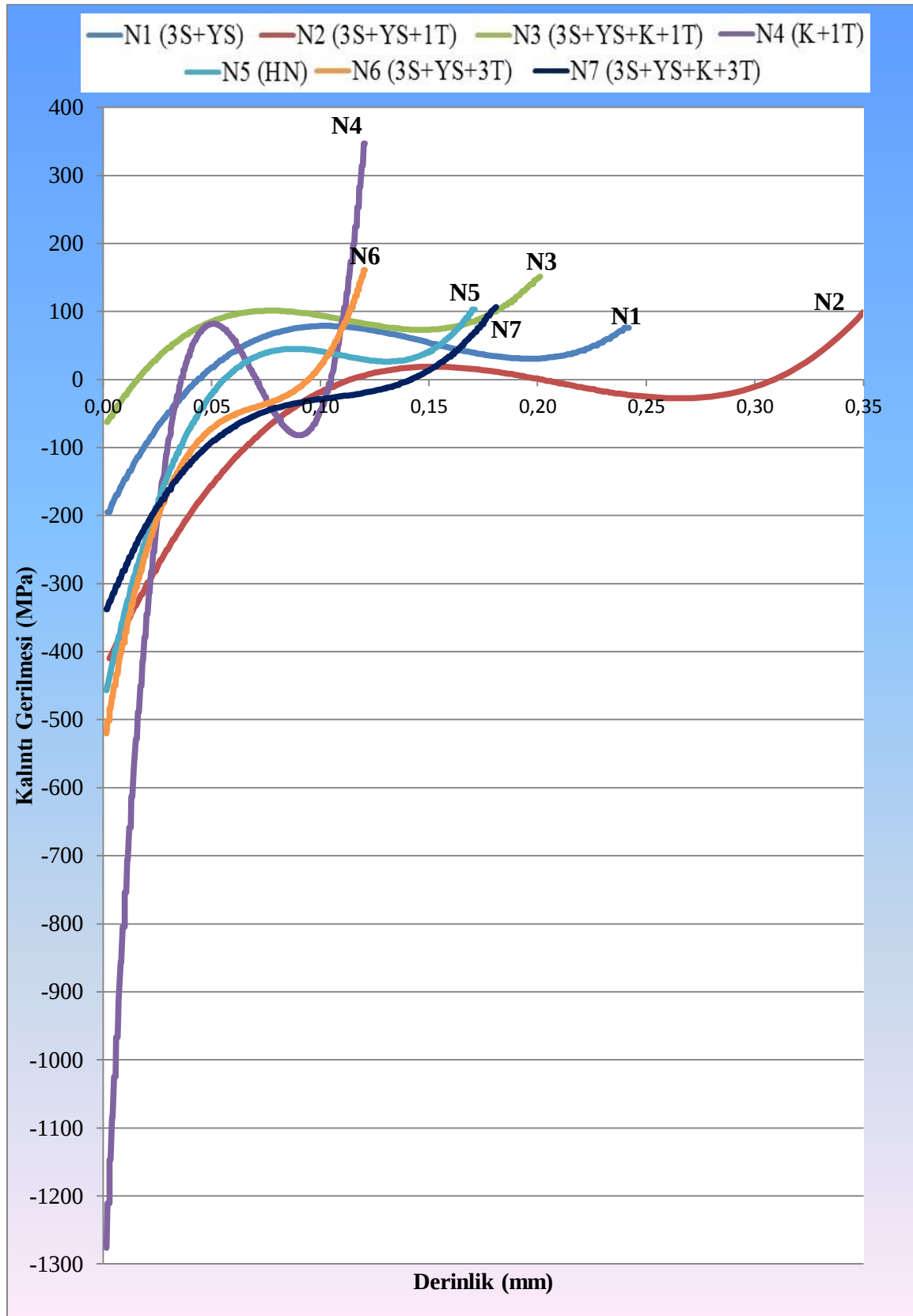
Şekil 7.2. Çekme testi sonucunda numunelerin akma ve kopma dayanımlarının karşılaştırılması

- 3- N2(3S+YS+1T) numunesindeki sementasyon sonrası 1 saatlik temperleme işleminin gerilmeleri arttırdığı görülmektedir. N3(3S+YS+K+1T) numunesindeki, temperleme işlemi öncesi yapılan kriyojenik işlemde ise numunenin dış yüzeyindeki gerilmeleri N2(3S+YS+1T) numunesine göre “+” yönde 347 MPa öteleyerek -62 MPa basma

gerilmesi seviyesine getirdiği görülmektedir. Aynı durum N6(3S+YS+3T) numunesindeki 3 saatlik temperleme işlemiyle, N7(3S+YS+K+3T) numunesindeki 3saatlik temperleme öncesi yapılan kriyojenik işlemde de söz konusudur. N6(3S+YS+3T) numunesinin dış yüzeyindeki gerilmeler, 1 saat temperleme işlemi yapılan N2(3S+YS+1T) numunesindeki -409 MPa'lık basma gerilmesi temperleme süresinin artmasıyla -520 MPa seviyelerine ulaşmıştır. N7(3S+YS+K+3T) numunesindeki 3saatlik temperleme öncesi yapılan kriyojenik işlemde ise N6(3S+YS+3T) numunesinin dış yüzeyindeki gerilmeler -520 MPa seviyesinden “+” yönde 183 MPa öteleyerek -337 MPa seviyesine gelmiştir. Fakat N4(K+1T) numunesinin ham numune N5(HN) üzerine yapılan kriyojenik işlemde dış yüzeydeki gerilmeleri “-” yönde etkileyerek akma sınırını aştığı görülmüştür. Bunun sebebinin de deney düzeneğinden kaynaklı yada kalıntı gerilme ölçümünde deney esnasında yapılan bir hatadan kaynaklı olabileceği düşünülmüştür (Şekil 7.4). Fakat Şekil 7.3’de doğru karbonlanmış ve sertleştirilmiş sementasyon çeliklerinde, eksenel, teğetsel ve radyal yöndeki kalıntı gerilme eğrileri verilmiştir[40,41]. Şekil 7.3 incelendiğinde, bu çalışmadaki numunelerin kalıntı gerilmesi sonuçları ile aynı yönde eğilim gösterdiği görülmektedir. Bu durum katman kaldırma deneyi cihazının doğru ölçüm yaptığı göstermiştir. N4(K+1T) numunesinde deney esnasında bir hata yapıldığı söylenebilir.

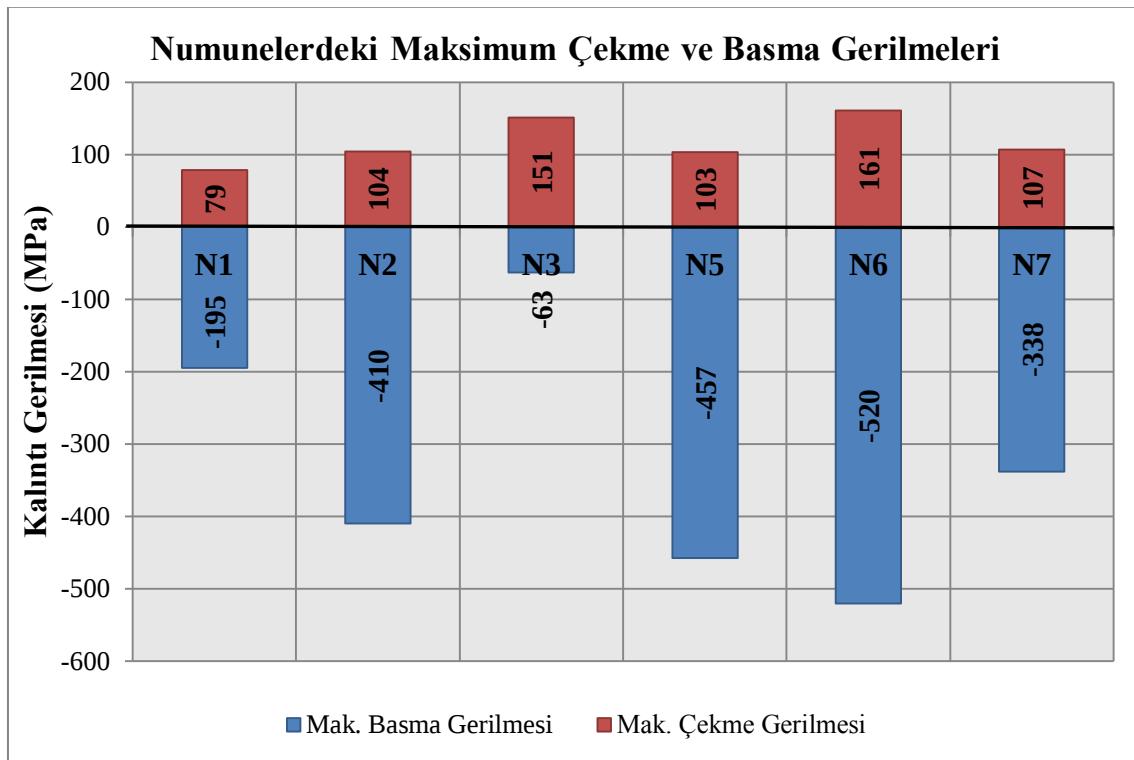


Şekil 7.3. Sementasyon yapılmış parçalarda meydana gelen kalıntı gerilmesi eğrileri [41].



Şekil 7.4. Numunelerin kalıntı gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması

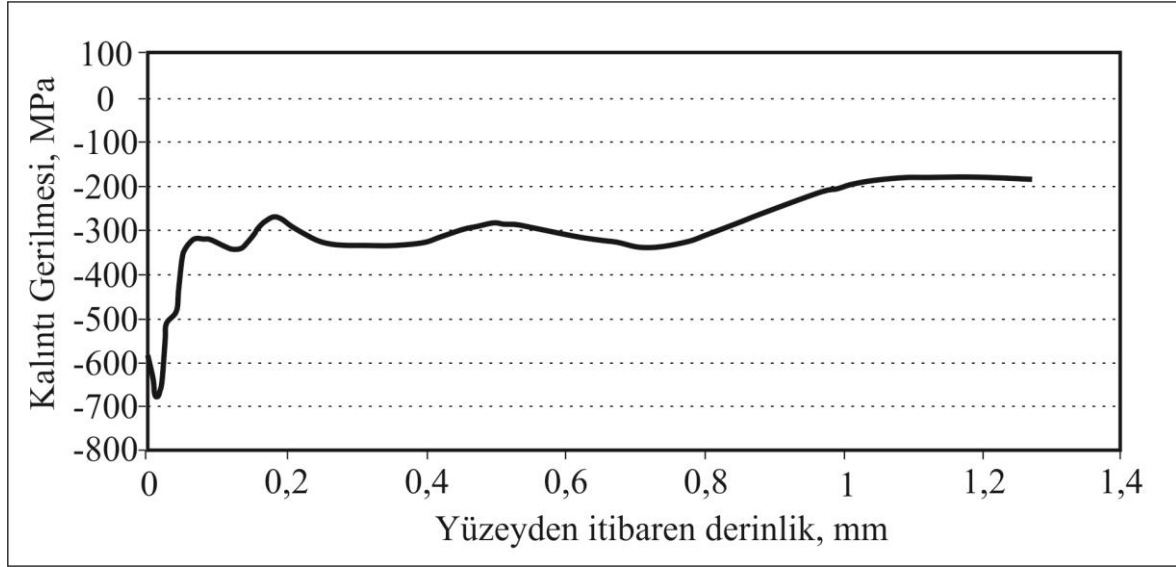
Katman kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmesi ölçüm sonuçlarını yorumlayacak olursak; ham numunenin talaş kaldırma işlemleri sonucunda malzemenin yüzeyinde ciddi basma gerilmelerinin olduğu görülmektedir. Kriyojenik işlemler malzemenin yüzeyindeki gerilmeleri çekme gerilmesi yönüne etkilemiştir. Fakat ham numuneye uygulanan kriyojenik işlem sıra dışı bir davranış göstererek gerilmeleri basma gerilmesi yönünde etkilemiştir. Temperleme süresine bağlı olarak yüzeydeki gerilmelerde basma gerilmesi yönünde ilerlemiştir. Kriyojenik işlem sonrası artan temperleme süresi, basma gerilmelerini eksi yöne doğru hareket ettirmektedir (Şekil 7.5).



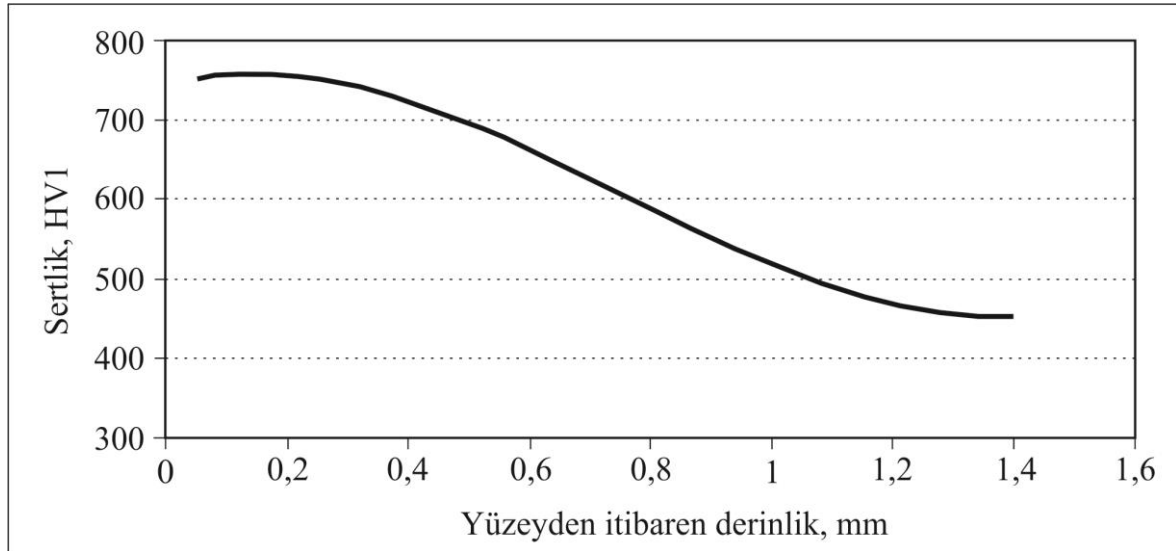
Şekil 7.5. Numunelerdeki maksimum çekme ve basma gerilmelerinin karşılaştırılması (N4 numunesi akma sınırını aştığı için gösterilmemiştir)

- 4- Asi ve arkadaşları da, SAE 8620 kalite sementasyon çeliğini X-ışını kırınımı yöntemi ile kalıntı gerilmelerini ve mikrosertlik değerlerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, Asi ve arkadaşları, 2 numaralı numunesinde SAE 8620 kalite çeliğine 940°C’de 3 saat sementasyon işlemi sonrasında 170°C’de 2 saat temperleme işlemi uyguladıktan sonra kalıntı gerilmelerini ve mikrosertlik değerleri açısından incelemişlerdir. Şekil 7.6 incelendiğinde kalıntı gerilmesi sonuçları açısından Asi ve arkadaşlarının çalışmasının sonuçları ile bu tez çalışmasının sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar ortaya

çıkmiştir. Böylece X-ışını kırınımı metoduyla, katman kaldırma yöntemi arasında bir karşılaştırma ortamı oluşmuştur[40]. Ayrıca Asi ve arkadaşlarının mikrosertlik sonuçları da bu tez çalışmasındaki sonuçlarla örtüşmektedir (Şekil 7.7).



Şekil 7.6. Asi ve arkadaşlarının kalıntı gerilmesi sonuçları [40].



Şekil 7.7. Asi ve arkadaşlarının mikrosertlik sonuçları [40].

- 5- Genelde, kriyojeni işleminin sertlik ve çekme dayanımında ciddi değişiklikler oluşturmadığı, fakat malzemenin dış yüzeyinde oluşan basma gerilmelerini olumlu yönde etkileyerek, gerilmelerin azaldığı görülmektedir.

- 6- Malzemedeki gerilmelerin ve sertliğin azalması; kırılmanın ve yüzeyde çatlak oluşumu riskinin de azalmasını sağlar.
- 7- Katman kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmelerinin ölçülmesinde çok titiz ve dikkatli çalışılması gerekmektedir. Katman kaldırma gerilme bağıntısındaki “Eş.5.4” df/da faktörü gerilme hesaplamasında etken değişkendir ve deney sırasında veri alımındaki en ufak bir ölçümleme hatası veya kalibrasyon sapması kalıntı gerilme değerlerini N4(K+1T) numunesinde olduğu gibi olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca bu bağıntının değişkenliği polinom denklemleri ile tanımlanmaktadır. Seçilen polinomun derecesi, kalıntı gerilme dağılım eğrisini etkilemektedir. Bu çalışmada, düşük dereceden polinomlar kullanılmıştır.

7.5. Öneriler

- 1- Kalıntı gerilmelerin ölçümü, farklı kalıntı gerilmesi ölçüm metodlarıyla ölçülerek katman kaldırma yöntemi ile karşılaştırılabilir.
- 2- Katman kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmesi ölçümünde tek numune yerine 3 veya 5 numunenin tekrarlı olarak ölçülerek ortalamasının alınmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ekinci, Ş., Akdemir, A. (2011). Nitrürlenmiş AISI 4140 çeliğine uygulanan yükün aşınma hızına etkisi. *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 10(1), 38-52.
2. Ulu, S., Aytekin, H., Said, G. (2006). 4 Farklı çeliğin bazı mekanik özelliklerine Fe-Fe₃c faz diyagramında A1-A3 arasında yapılan ısıt işlemlerin etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 1-9.
3. Özserağ, U., Yılmaz, R., Ekerer, F. A., Uzun, H. (2001 Aralık). Sementasyon işlemi yapılan çeliklerde mikro sertlik ve mikroyapı değişiminin incelenmesi. *Metallurji Dergisi*, 34-38.
4. Can, A. Ç., Yüksel, M. Sementasyonla Sertleştirilen Parçalar İçin Çelik Ve Boyut Seçimi. *Metallurji*, 66, 42-46.
5. Uluğ, B., Baydoğan, M., Kayalı, E.S., Çimenoglu, H. (2007 Kasım). *Semente Edilmiş 8620 Kalite Çeliğin Özelliklerine Sıfırlı İşlemin Etkisi*. 4. Demir Çelik Kongresi, Karabük.
6. Senthilkumar, D., Rajendran, I., Pellizzari, M., Siirainen, J. (2011). Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 396-401.
7. Asi, O. (2004). Sementasyon yapılan SAE 8620 çeliğinde meydana gelen kalıntı östenit miktarlarının incelenmesi. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 17, (4), 103-113.
8. Paul, S., Chattopadhyay, A.B. (1996). Determination and control of grinding zone temperature under cryogenic cooling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 36, 491-501.
9. Baldissera, P., Delprete, C. (2009). Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel. *Materials & Design*, 30, 1435-1440.
10. Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D., Nagarajan, G. (2005). Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment. *Cryogenics*, 45, 747-754.
11. Bensely, A., Shyamala, L., Harish, S., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., Junik, K., Rajadurai, A. (2009). Fatigue behaviour and fracture mechanism of cryogenically treated En 353 steel. *Materials & Design*, 30, 2955-2962.
12. Baldissera, P. (2009). Fatigue scatter reduction through deep cryogenic treatment on the 18NiCrMo5 carburized steel. *Materials & Design*, 30, 3636-3642.

13. Fredj, N.B., Sidhom, H. (2006). Effects of the cryogenic cooling on fatigue strength of the AISI 304 stainless steel ground components. *Cryogenics*, 46, 439-448.
14. Fredj, N.B., Sidhom, H., Braham, C. (2006). Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI 304 using cryogenic cooling. *Surface & Coatings Technology*, 200, 4846-4860.
15. Firouzdor, V., Nejati, E., Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of Materials Processing Technology*, 206, 467-472.
16. Paul, S., Chattopadhyay, A. B. (1995). A study of effects of cryo-cooling in grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35, 109-117.
17. Paul, S., Chattopadhyay, A.B. (1995). Effects of cryogenic cooling by liquid nitrogen jet on forces, temperature and surface residual stresses in grinding steels. *Cryogenics*, 35, 515-523.
18. Bensely, A., Venkatesh, S., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., Rajadurai, A., Junik, K. (2008). Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized En 353 steel. *Materials Science and Engineering*, 479, 229-235.
19. Kafkas, F. (2007). *Vidaların talaşlı imalatında imalat parametrelerinin vida dış dibiindeki kalıntı erilmeler üzerine etkilerinin deneysel olarak araştırılması*, Yayınlanmış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
20. Subaşı, M., Kafkas, F., Karataş, Ç. (2010 Kasım). *AISI 4140 çeliğinde sertlik ve kalıntı gerilme ilişkisi*. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir.
21. Yiğit, O., Dilmeç, M., Halkacı, H. S. (2008). Tabaka kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması. *Mühendis ve Makine*, 49, (579), 20-27.
22. Topbaş, M. A. (1998). *Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı*, İstanbul: Prestij Yayıncılık, 134-168.
23. Van Sciver, S.W. (1986). *Helium Cryogenics*, New York: Plenum Press, 7-9.
24. Kıvak, T. (2012). *Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6AL-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması*, Yayınlanmış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
25. Arslan, F. K. (2010). *Soğuk iş takım çeliklerinde sıfırlama işlem derecesinin mekanik özelliklere etkisi*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 3-4, 41-53.

26. Cryogenics. (2009) Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cryogenics>, 10 Mart 2014'de alınmıştır.
27. Yıldız, Y. (2010). *Soğuk ve kriyojenik işlemli bakır elektrot ve berilyum-bakır alaşımı iş parçalarının elektro erozyon işleme performansına etkileri*. Yayımlanmış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5.
28. Bulgurcu, H. (1996 Ekim-Kasım). Kriyojenik soğutma uygulamaları. *Termodinamik Dergisi*, 50, 1-8.
29. Çiçek, A., Kıvak, T., Turgut, Y., Uygur, İ., Ekici, E. (2011). *Derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri*. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 33-36.
30. Yıldız, Y., Nalbant, M. (2008). A review of cryogenic cooling in machining processes. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, 947-964.
31. Seah, K. H. W., Rahman, M., Yong, K. H. (2003). Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts. *Journal of Engineering Manufacture*, 217, 29-43.
32. Taner, E. (2000 Eylül). Makina parçalarında yeni ıslah yöntemleri. *Mühendis ve Makine*, 488.
33. İnternet: Alper Isıl İşlem, “Kriyojenik İşlem”, <http://www.alper.com.tr/hizmetler/isil-islem/kriyojenik.html>
34. Tekin, E. (1982). Takım çeliklerinin ısıtma işlemi. *Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Yayınları*, Ankara, 226, 2228.
35. Kafkas, F. (2001). *Katman kaldırma tekniğine dayalı olarak kalıcı gerilmelerin ölçülmesini sağlayan bilgisayarlı ölçme cihazının tasarımı ve imalatı*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40-56.
36. Varol, R., Bedir, F. (1993). Artık Gerilmelerin Önemi ve Yorulma Limiti Üzerine Etkisi. *Mühendis ve Makine*, 34, (406), 38-41.
37. Dülek, E. (2002). *Ç 1020 Malzemedeki bilyeli dövme ile oluşturulan yüzeydeki kalıcı gerilmelerin katman kaldırma (Elektro Kimyasal) yöntemiyle incelenmesi*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 55-68.

38. Stephens, I. R., Fatemi, A., Stephens, R. R., Fuchs, O. H. (2000). *Metal Fatigue in Engineering*, New York: John Wily & Sons, 243-266.
39. Lu, J. (1996) *Handbook of Measurement Of Residual Stresses*, Society For Experimental Mechanics, Senlis: The Fairmont Press Inc, 35-48.
40. Asi, O., Asi, D., (2003) Sementasyon yapılan SAE 8620 çeliğinde meydana gelen kalıntı gerilmelerinin incelenmesi. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 16, (4), 725-732.
41. Krauss, G., (1991). *Microstructures and Properties of Carburized Steels*, ASM International, Metals Handbook, Volume 4: Heat Treating, 363-375.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİRKAYA, Zihni
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.07.1984, Eskişehir
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 201 15 69
 Faks : -
 e-mail : zihnidemirkaya@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /F.B.E./Mak. Eğt.	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniv./T.E.F./Mak. Eğt./Tas. ve Kons. Öğrt.	2009
Lise	Eskişehir Atatürk Teknik Lisesi/Mak. Res.	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-Halen	MTA Genel Müdürlüğü Jeo. Etüt. Dai. Bşk	Büro Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Ateş, H., Özdemir, A.T., **Demirkaya, Z.**, Kafkas, F., Köylüoğlu, B., Toktaş, İ., (2014, 21-23 Mayıs). *Effects of Cryogenics and Case Hardening on Mechanical Behavior of Friction Welded 8620 Steel Parts*. 3rd International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET'14), Manisa.

Hobiler

Bilgisayar, Futbol, Makine

A

akma · 21, 35, 54, 55, 65, 66, 70, 71

B

basma · 2, 7, 57, 58, 60, 67, 73

Ç

Çekme testi · 30, 35, 36, 52, 54, 67, 70

D

dayanım · 10, 51, 65, 66, 70

G

gerilme · 5, 7, 8, 21, 23, 24, 25, 27, 36, 68, 78

K

kalıntı · iv, 2, 3, 5, 6, 7, 13, 16, 21, 22, 23, 24, 30, 36, 40,
41, 43, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 73, 75, 77, 78

kopma · 35, 51, 54, 55, 65, 66, 70

kriyojenik · iv, xiii, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18,
19, 30, 45, 46, 48, 49, 54, 55, 58, 60, 63, 64, 65, 66,
67, 68, 69, 70, 73, 78, 79

M

Mikrosertlik · 34, 35, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 63,
65, 69

Mikroyapı · 1

MPa · xiii, 6, 7, 10, 40, 51, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 65,
66, 67, 68, 70

N

N1(3S+YS) · 44, 48, 51, 54, 57, 63, 65, 66, 68, 69

N2(3S+YS+1T) · 45, 48, 49, 51, 57, 58, 63, 64, 66, 68,
70, 71

N3(3S+YS+K+1T) · 45, 48, 49, 51, 58, 64, 66, 68, 69, 70

N4(K+1T) · 46, 58, 59, 63, 65, 67, 71

N5(HN) · 46, 47, 51, 59, 63, 65, 67

N6(3S+YS+3T) · 47, 48, 49, 51, 60, 64, 66, 68, 70, 71

N7(3S+YS+K+3T) · 48, 49, 51, 61, 64, 66, 68, 71

numune · xiii, 4, 7, 25, 26, 30, 34, 35, 38, 44, 45, 48, 49,
60, 63, 64, 69, 71, 75

S

Sementasyon · iv, 1, 2, 3, 9, 10, 31, 32, 55, 65, 67, 69,
77

sertlik · xiv, 1, 3, 4, 13, 34, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 63, 64,
74, 77, 78

T

temperleme · xiii, 2, 3, 30, 45, 47, 48, 49, 54, 55, 57,
58, 60, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70

V

Vickers · xiv, 34, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 63, 65, 69



GAZİ GELECEKTİR..