

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KEPÇE DİŞLERİ İÇİN KIYAS YOLU İLE MALZEME
GELİŞTİRME VE BU MALZEMENİN ISIL İŞLEM YOLU İLE
PERFORMANSININ ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERRUH NİYAZİ BALYA

BALIKESİR, TEMMUZ - 2013

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KEPÇE DİŞLERİ İÇİN KIYAS YOLU İLE MALZEME
GELİŞTİRME VE BU MALZEMENİN ISIL İŞLEM YOLU İLE
PERFORMANSININ ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERRUH NİYAZİ BALYA

BALIKESİR, TEMMUZ - 2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ferruh Niyazi BALYA tarafından hazırlanan “**KEPÇE DİŞLERİ İÇİN KİYAS YOLU İLE MALZEME GELİŞTİRME VE BU MALZEMENİN ISIL İŞLEM YOLU İLE PERFORMANSININ ARTTIRILMASI** ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 22.07.2013 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Prof.Dr. İrfan AY

Üye
Prof. Dr. Ramazan YAMAN

Üye
Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK

İmza


.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Hilmi NAMLI

.....

ÖZET

**KEPÇE DİŞLERİ İÇİN KIYAS YOLU İLE MALZEME
GELİŞTİRME VE BU MALZEMENİN ISIL İŞLEM YOLU İLE
PERFORMANSININ ARTTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FERRUH NİYAZİ BALYA
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. İRFAN AY)

BALIKESİR, TEMMUZ - 2013

Dünyada ve Ülkemizde, Madencilik sektöründe kullanılmakta olan, dragline, bager, ekskavatör gibi kazı ve yükleme işlerinde çalıştırılan ağır iş makinalarının kepçelerinde; kepçe saplanmış kuvvetini arttırarak kazı işlemini kolaylaştırmak amacıyla, kepçe ana malzemesine direkt veya bir adaptör yardımıyla bağlanan kepçe dişleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, TKİ Kurumuna bağlı Ege Linyitleri İşletmesinde çalıştırılmakta olan elektrikli ekskavatörlerde kullanılan, yerli imal edilmiş kepçe dişlerinde yaşanan kırılma problemlerinin, işletmede sorunsuz olarak çalışan orijinal USA menşei kepçe dişleri malzeme ve üretim yöntemleri açısından kıyaslanmak suretiyle, yerli üretilen kepçe diş performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda yerli ve orijinal kepçe dişlerinin malzeme analizleri, sertlik karşılaştırmaları yapılmış, orijinal kepçe diş kimyasal kompozisyonunda numuneler dökülmüş ve bu numunelere, farklı ortam ve sıcaklıklarda, ısıl işlemler uygulanarak değişik içyapı ve mekanik özelliklerde malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen bu farklı mekanik özelliklerdeki yapıların, orijinal malzemenin mekanik özellikleri ile yapılan kıyaslanmasında ona en yakın olan numune malzemenin, kimyasal kompozisyonu ve ısıl işlem prosedürü esas alınarak 1 takım kepçe diş imali gerçekleştirilmiştir.

İmal edilen kepçe dişleri aynı çalışma ortamlarında işletmedeki bir ekskavatöre bağlanarak, çalışma performansları izlenmiş ve yapılan gözlemler neticesinde; Yeni orijinal malzeme kompozisyonunda, ısıl işlem sonucu östenitlenerek su verilmiş ve daha sonra 600°C sıcaklıkta menevişlenerek elde edilmiş olan mekanik özelliklere sahip kepçe dişlerinde, 1100 saatlik bir çalışma süresi içerisinde, herhangi bir kırılma probleminin yaşanmadığı ve çalışma performanslarında belirgin bir iyileşme olduğu tesbit edilmiştir. İzleme ve gözetleme halen sürmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: kepçe diş / ekskavatör dişleri / ısıl işlem.

ABSTRACT

BUILDING MATERIAL FOR EXCAVATOR BUCKET TOOTH BY COMPARISON METHOD AND IMPROVING THE PERFORMANCE OF THIS MATERIAL BY HEAT TREATMENT PROCESS

MSC THESIS

FERRUH NIYAZI BALYA

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF.DR. İRFAN AY)

BALIKESİR, JULY 2013

In the world and also in our country, some excavating and loading machines like dragline, bagger and excavator in the mining industry, bucket teeth which are attached to the main bucket material directly or by the help of an adapter, are used to ease excavating process by increasing bucket fixing force.

In this study, the aim was to increase the performances of local made teeth which are being used in the electric shovels in Aegean Lignite Establishment which is connected to TKİ foundation, by comparing the local made bucket teeth that fracture problems encountered with, and the original USA made bucket teeth that work without any problem, according to their materials and manufacturing process.

In accordance with this aim, the material analysis and hardness of local made and original bucket teeth are compared, different samples are manufactured with the original bucket teeth chemical composition. Materials with different microstructures and mechanical properties are obtained by applying different heat treatments in different temperature and work conditions. As a result of comparing these structures with original materials, based on the heat treatment procedure of the sample which has the nearest values of the original structure, a set of bucket teeth is manufactured.

The manufactured bucket teeth are attached on an excavator in the establishment in the same working conditions and work performances are observed. After 1100 hours of operating time, it is determined that there is a significant recovery in the working performances and no fracture problems occurred in the bucket teeth, having original material composition that have quenched by austenitizing after heat treatment and have mechanical properties which are obtained by tempering at 600°C temperature.

KEYWORDS: buckettooth / excavating bucket teeth / heat treatment

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. EKSKAVATÖRLER	3
2.1 Ekskavatörlerin Sınıflandırılması.....	3
2.1.1 Çalışma Şekillerine Göre.....	3
2.1.1.1 Beko Tip (Ters Kepçe) Ekskavatörler.....	3
2.1.1.2 Shovel (Kürek Tip) Ekskavatörler.....	4
2.1.2 Tahrik Şekillerine Göre.....	5
2.1.2.1 Hidrolik Ekskavatörler.....	5
2.1.2.1.1 Hidrolik Ekskavatörlerin Teknik Yapısı.....	6
2.1.2.2 Elektrikli Ekskavatörler.....	8
2.1.2.2.1 Elektrikli Ekskavatörlerin Hareketleri.....	9
2.1.2.2.2 Elektrikli Ekskavatörlerin Teknik Yapısı.....	12
3. ÇELİK MALZEMENİN İÇYAPISI	24
3.1 (Fe-C) Denge Diyagramı.....	24
3.2 Ötektoidaltı Çeliklerde Oluşan İçyapılar	27
3.3 Ötektoid Çelikte Oluşan İçyapı.....	29
3.4 Ötektoidüstü Çeliklerde Oluşan İçyapılar	30
3.5 Dönüşüm Kritik Sıcaklıkları.....	31
3.6 SSD (Sıcaklık-Süre-Dönüşüm) Çizgileri.....	32
3.7 Soğuma Eğrileri ve SSD Çizgileri.....	35
3.8 Sürekli Soğuma Çizgileri.....	37
3.9 Alaşım Elementlerinin SSD Çizgilerine Etkileri.....	38

4. ISIL İŞLEMLER VE SERTLEŞTİRME.....	40
4.1 Ostenitleme.....	40
4.2 Tavlama.....	41
4.3 Normalizasyon.....	42
4.4 Küreleştirme.....	44
4.4.1 Rekristalizasyon.....	45
4.4.2 Gerilim Giderme Tavlaması.....	46
4.5 Su Verme ve Sertleştirme.....	47
4.5.1 Su Verme Soğutma Hızı.....	50
4.5.2 Su Verme Ortamı.....	50
4.5.3 Su Verme Ortam Sıcaklığı.....	51
4.5.4 Parça Büyüklüğü ve Kütlesi.....	53
4.6 Martenzit ve Çeliğin Sertleşmesi.....	54
4.7 Menevişleme.....	58
4.7.1 Menevişlemede İçyapısal Değişimler.....	61
4.7.2 Mekanik Özelliklerdeki Değişimler.....	62
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	64
5.1 Giriş.....	64
5.2 Kepçe Dişleri.....	65
5.3 Çalışmada İzlenen Yol.....	67
5.4 Eldeki Verilerin Tesbiti.....	68
5.4.1 Kepçe Dişlerinin Kimyasal Analizleri.....	68
5.4.2 Kepçe Dişlerinin Sertlik Ölçümleri.....	69
5.5 Alaşım Elementlerinin Sertlik ve Tokluk Üzerine Etkileri.....	70
5.6 Fabrika Çalışmaları.....	70
5.6.1 Kimyasal Yapı Kompozisyonunun Oluşturulması.....	70
5.6.2 Döküm İşlemi.....	72
5.6.3 Isıl İşlem.....	74
5.6.3.1 Ostenitleme İşlemi.....	74

5.6.3.2 Su Verme.....	75
5.6.3.3 Menevişleme.....	76
5.6.4 Çekme Deneyi.....	78
5.6.4.1 Deneyin Amacı.....	78
5.6.4.2 Deneyin Yapılışı.....	78
5.6.5 Metalografik Muayene.....	87
5.6.5.1 Deneyin Amacı.....	87
5.6.5.2 Metalografik Muayene İle ilgili Bilgiler.....	87
5.6.5.3 Deneyin Yapılışı.....	88
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	106
7. GENEL SONUÇLAR	111
8. KAYNAKLAR	113

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Beko (Ters kepçe) Ekskavatör.....	4
Şekil 2.2: Shovel Tip (Elektrikli) Ekskavatör.....	5
Şekil 2.3: Hidrolik Ekskavatörün Kısımları.....	6
Şekil 2.4: Hidrolik Ekskavatörün Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 2.5: Shovel Elektrikli Ekskavatör Yükleme Esnasında.....	8
Şekil 2.6: Hoist (Kaldırma) Hareketi.....	9
Şekil 2.7: Crowd (İtme-Çekme) Hareketi.....	10
Şekil 2.8: Swing (Dönüş) Hareketi.....	10
Şekil 2.9: Propel (Yürüyüş) Hareketi.....	11
Şekil 2.10: Shovel Ekskavatörün Genel Görünüşü.....	12
Şekil 2.11: Palet Pabuçları ve Palet Germe Mekanizması.....	12
Şekil 2.12: Cer Sistemi.....	13
Şekil 2.13: Ana Alt Şasi.....	14
Şekil 2.14: Alt ve Üst Raylar, Kule Dönüş Makarası ve Harman Dişli Kesiti....	15
Şekil 2.15: Göbek Mili, Göbek Burcu ve Göbek Somunu.....	15
Şekil 2.16: Üst Şasi Genel Yerleşim Planı.....	16
Şekil 2.17: Swing (Dönüş) Mekanizması.....	17
Şekil 2.18: Hoist Tamburu ve Mekanizması.....	18
Şekil 2.19: Hoist Halatları ve Sarım Sistemi.....	18
Şekil 2.20: Bom ve Bileşenleri.....	19
Şekil 2.21: Krameyer Kolları ve Hareket Mekanizması.....	20
Şekil 2.22: Kepçe ve Kapak Sistemi.....	21
Şekil 2.23: Kepçe ve Kapak Açma Sistemi.....	22
Şekil 2.24: Kepçe Diş ve Diş Adaptörleri.....	23
Şekil 3.1: Fe-C Denge Diyagramı.....	24
Şekil 3.2: Ferritik Yapı.....	25

Şekil 3.3:	Ostenitik Yapı.....	25
Şekil 3.4:	Ledeburit Yapı.....	26
Şekil 3.5:	Perlit ve Sementit Yapıları.....	27
Şekil 3.6:	Widmanstatten Yapıları.....	28
Şekil 3.7:	Ötektoidaltı Çeliklerde Oluşturulan İçyapılar.....	29
Şekil 3.8:	Ötektoidüstü Çeliklerde Dengeli İçyapılar.....	30
Şekil 3.9:	Eş Isıl Dönüşüm Eğrileri.....	33
Şekil 3.10:	Kaba ve İnce Taneli Perlit ile Beynit Yapıları.....	33
Şekil 3.11:	Ötektoidaltı Çeliğin Eş Isıl Eğrileri.....	34
Şekil 3.12:	Ötektoidüstü Çeliğin Eş Isıl Eğrileri.....	34
Şekil 3.13:	Soğuma Hızlarına Bağımlı Faz Dönüşümleri.....	35
Şekil 3.14:	Büyüklik ve Soğuma Hızlarının İçyapıya Etkisi.....	37
Şekil 3.15:	Sürekli Soğuma Dönüşüm Eğrileri.....	38
Şekil 3.16:	Alaşım Elementlerinin SSD Eğrilerine Etkisi.....	39
Şekil 4.1:	Isıl İşlem Sıcaklık Aralıkları.....	42
Şekil 4.2:	Karbona Bağımlı Olarak Mekanik Özelliklerin Değişimi	44
Şekil 4.3:	Martenzit Oluşumunun Sıcaklığa Bağlı İlerleyişi.....	48
Şekil 4.4:	Martenzitik Yapılar.....	49
Şekil 4.5:	Su Verme Ortam Sıcaklığının Soğumaya Etkisi.....	52
Şekil 4.6:	Karıştırmanın Merkez Soğumasına Etkisi.....	53
Şekil 4.7:	Parça Büyüklüğünün Merkez Soğumasına Etkisi.....	54
Şekil 4.8:	Karbonun Oluşturduğu Kareprizmalık.....	55
Şekil 4.9:	Karbon İçeriğine Bağlı Olarak Erişilebilen Sertlik Düzeyleri.....	56
Şekil 4.10:	Yapıda Kalan Ostenit (RA).....	57
Şekil 4.11:	Karbon ve Martenzit İçeriğinin Sertliğe Etkisi.....	58
Şekil 4.12:	Tokluk Özelliğinin Menevişleme Sıcaklığına Göre Değişimi	60
Şekil 4.13:	Menevişli Martenzit.....	62
Şekil 4.14:	Çeliklerin Türlerine Göre Menevişleme Davranışları.....	63
Şekil 5.1:	Elektrikli Ekskavatör Genel Görünüş.....	64

Şekil 5.2:	Ekskavatör Kepçe ve Kepçe Dişleri.....	65
Şekil 5.3:	Makina Üstünde Kırık Kepçe Diş Görüntüleri.....	66
Şekil 5.4:	Kırık Kepçe Diş Görüntüleri.....	66
Şekil 5.5:	Orijinal "Hensley" Kepçe Dişine Ait Görüntü.....	67
Şekil 5.6:	A ve B Firmalarına Ait Kepçe Diş Görüntüleri.....	67
Şekil 5.7:	A ve B Firmalarına Ait Kepçe Diş Sertlik Nüfuziyetleri.....	69
Şekil 5.8:	Ham Alaşım Elementleri.....	70
Şekil 5.9:	A laşım Elementleri Tartım İşlemi.....	71
Şekil 5.10:	Alaşım Elementlerinin İndüksiyon Ocağında Ergitilmesi.....	71
Şekil 5.11:	Zımparalama ve Spektrometrede Kimyasal Bileşim Kontrolü.....	72
Şekil 5.12:	Döküm İşleminin Gerçekleştirileceği Kum Kalıplar.....	72
Şekil 5.13:	S ıvı Metalin Potalara Alınması ve Kalıplara Döküm İşlemi.....	73
Şekil 5.14:	Orijinal Kimyasal Yapıda Hazırlanmış Numuneler.....	73
Şekil 5.15:	Isıl İşlemin Gerçekleştirildiği Tav Fırınları.....	74
Şekil 5.16:	Soğuma Eğrileri ve Faz Dönüşümleri.....	75
Şekil 5.17:	Su Verme Ortamları.....	75
Şekil 5.18:	Kullanılan Çekme Numunesi Ölçüleri.....	78
Şekil 5.19:	Hazırlanmış Çekme Deney Numuneleri Resimleri.....	79
Şekil 5.20:	Çekme Deneyi Öncesi ve Sonrası (4 No'lu Numune).....	80
Şekil 5.21:	Çekme Deneyi Öncesi ve Sonrası (8 No'lu Numune).....	80
Şekil 5.22:	Çekme Deneyi Sonrası Numune Resimleri.....	81
Şekil 5.23:	(1) ve (2) No'lu Numunelere Ait Çekme Eğrileri.....	85
Şekil 5.24:	(3) ve (4) No'lu Numunelere Ait Çekme Eğrileri.....	85
Şekil 5.25:	(5) ve (6) No'lu Numuneler Ait Çekme Eğrileri.....	86
Şekil 5.26:	(7) ve (8) No'lu Numunelere Ait Çekme Eğrileri.....	86
Şekil 5.27:	Metalografik Muayene Numuneleri.....	88
Şekil 5.28:	Numune Kesme Makinası.....	89
Şekil 5.29:	Numune Kesme Makinası Kabini.....	89

Şekil 5.30: Numunelerin Son Hali (20X20X10mm).....	90
Şekil 5.31: Kalıba Alma İşleminde Kullanılan Malzemeler.....	91
Şekil 5.32: Numune Kalıpları.....	91
Şekil 5.33: Kalıplanmış Numuneler.....	92
Şekil 5.34: Kullanılan Zımparalar.....	93
Şekil 5.35: Zımparalama İşlemi.....	93
Şekil 5.36: Parlatma Solisyonları.....	94
Şekil 5.37: Parlatma İşleminin Yapılışı.....	95
Şekil 5.38: Metal Mikroskobu.....	96
Şekil 5.39: Metal Mikroskobunda İnceleme.....	96
Şekil 5.40 : Şematik Olarak Mikroskop.....	97
Şekil 5.41: 1 No'lu Numune (50X).....	98
Şekil 5.42: 1 No'lu Numune (100X).....	98
Şekil 5.43: 1 No'lu Numune (200X).....	98
Şekil 5.44: 2 No'lu Numune (50X).....	99
Şekil 5.45: 2 No'lu Numune (100X).....	99
Şekil 5.46: 2 No'lu Numune (200X).....	99
Şekil 5.47: 3 No'lu Numune (50X).....	100
Şekil 5.48: 3 No'lu Numune (100X).....	100
Şekil 5.49: 3 No'lu Numune (200X).....	100
Şekil 5.50: 4 No'Numune (50X).....	101
Şekil 5.51: 4 No'lu Numune (100X).....	101
Şekil 5.52: 4 No'lu Numune (200X).....	101
Şekil 5.53: 5 No'lu Numune (50X).....	102
Şekil 5.54: 5 No'lu Numune (100X).....	102

Şekil 5.55: 5 No'lu Numune (200X).....	102
Şekil 5.56: 6 No'lu Numune (50X).....	103
Şekil 5.57: 6 No'lu Numune (100X).....	103
Şekil 5.58: 6 No'lu Numune (200X).....	103
Şekil 5.59: 7 No'lu Numune (50X).....	104
Şekil 5.60: 7 No'lu Numune (100X).....	104
Şekil 5.61: 7 No'lu Numune (200X).....	104
Şekil 5.62: 8 No'lu Numune (50X).....	105
Şekil 5.63: 8 No'lu Numune (100X).....	105
Şekil 5.64: 8 No'lu Numune (200X).....	105
Şekil 6.1: Orijinal Diş Yapısında Üretilmiş Kepçe Dişleri.....	109
Şekil 6.2: Kepçe Dişlerinin Makina Üzerindeki Montajlı Durumu.....	109
Şekil 6.3 : Kepçe Dişlerinin Makina Üzerinde İncelenmesi.....	110

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: Kepçe Dişleri Kimyasal Kompozisyonları.....	68
Tablo 5.2: Kepçe Dişi Sertlik Değerleri.....	69
Tablo 5.3: Çekme Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar.....	81
Tablo 5.4: Temperlenmiş Numunelerin Sertlik Değerleri.....	82
Tablo 5.5: Temperlenmiş Numunelerin Çekme Gerilim Değerleri.....	82
Tablo 5.6: Temperlenmiş Numunelerin Akma Gerilim Değerleri.....	83
Tablo 5.7: Temperlenmiş Numunelerin Kopma Uzaması.....	83
(A) % Değerleri	
Tablo 5.8: Numunelerin Sertlik, Çekme Gerilimi, Akma Dayanımı ve.....	94
Kopma Uzama Değerleri	
Tablo 5.9: 7 No'lu Numune Mekanik Değerleri.....	112

SEMBOL LİSTESİ

Fe	=	Demir
C	=	Karbon
Cr	=	Krom
Mo	=	Molibden
V	=	Vanadyum
Si	=	Silisyum
Mn	=	Mangan
Cu	=	Bakır
Al	=	Alüminyum
Ni	=	Nikel
Nb	=	Nubidyum
Ti	=	Titanyum
Co	=	Kobalt
W	=	Volfram
Pb	=	Kurşun
Co₂	=	Karbondioksit
Yd³	=	0,7646 m ³ ' e denk gelen İngiliz hacim ölçüsü birimi
σ	=	Gerilme
σ_0	=	Orantı sınırı
σ_a	=	Akma dayanımı
$\sigma_ç$	=	Çekme dayanımı
KU	=	Kopma uzaması
KB	=	Kopma büzülmesi
ϵ	=	Uzama
M_s	=	Ostenitin martensite dönüşümünün başladığı sıcaklık değeri
M_f	=	Ostenitin martensite dönüşümünün sona erdiği sıcaklık değeri
Fe₃C	=	Sementit fazı
a	=	Ferrit fazı (HMK)
γ	=	Ostenit fazı (YMK)
Ac₁	=	Isıtma sırasındaki A ₁ dönüşüm sıcaklık eğrisi
Ac₃	=	Isıtma sırasındaki A ₃ dönüşüm sıcaklık eğrisi
Ac_{cm}	=	Isıtma sırasındaki Ac _m dönüşüm sıcaklık eğrisi
Ar₁	=	Soğutma sırasındaki A ₁ dönüşüm sıcaklık eğrisi
Ar₃	=	Soğutma sırasındaki A ₃ dönüşüm sıcaklık eğrisi
Ar_{cm}	=	Soğutma sırasındaki Ac _m dönüşüm sıcaklık eğrisi
TN	=	Eş ısı dönüşüm eğrilerinin burun (uç nokta) sıcaklıkları
SSD	=	Sürekli soğuma dönüşüm eğrileri
A₁	=	Ötektoid sıcaklığı (723°C)
A₃	=	($\alpha + \gamma$) bölgesi ile (γ) bölgelerini ayıran sıcaklık çizgisi
Ac_m	=	(Fe ₃ C + γ) bölgesini (γ) bölgesinden ayıran sıcaklık çizgisi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle, yapıcı ve uyarıcı desteklerini gördüğüm danışman hocam Sayın Prof. Dr. İrfan AY'a değerli katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince, her türlü imkanı ve desteklerini esirgemeyen, Kurumumuz Ege Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürümüz Sayın Hakkı DURAN başta olmak üzere, Müessese Müdür Yardımcımız Sayın Ali ULU'ya, Makine İşletme Şube Müdürümüz Sayın Şevki ALTUN'a ve deney çalışmalarımın yapılmasında emekleri geçen tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Fabrika çalışmalarım esnasında Şirketlerinin bütün imkanlarını sunmuş olan, Motus Otomotiv Makine ve Metalurji San. ve Tic A.Ş. Yöneticisi Sayın Hıfı SOYDEMİR'e, değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Metalurji Yüksek Mühendisi Sayın Naci MUTLU'ya ve emeği geçen tüm şirket çalışanlarına, çalışmalarına yapmış oldukları katkı ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca hep yanımda olan ve desteğini esirgemeyen, eşim Zühal'e teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü açık işletmelerinde, maden cevherine ulaşmak için yapılan örtü tabakasının kaldırılması (dekapaj işleri) ve cevher çıkarılması (istihsal) işlerinde yüksek kapasiteli ağır iş makinaları grubunda yer alan ekskavatörler kullanılmaktadır. Bu makinalar, kapasiteleri ve verimleri yüksek olmalarına karşın ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı işletilen cevher yatağının bu yatırımı karşılayacak derecede geniş bir saha kaplaması ve zengin olması gerekir. Ekskavatörlerde öne çıkan en büyük özellik kapasitedir. Bir ekskavatörün kapasitesi ise, kazıcı elemanın (kepçe) belirli bir zaman içerisinde çıkardığı cevher miktarı ile ölçülür. Bunun için bir ekskavatörün büyüklüğü kazıcı elemanın kapasitesi ile ifade edilir ve iş planlamaları, makine parkındaki toplam makine kapasiteleri göz önünde bulundurularak yapılır. Yüksek kapasiteli bir ekskavatörde;

- Kazıcı elemanın kapasitesi büyük olduğundan iri parçalar da kazılarak yükleme yapılabilir.
- Ulaşım mesafesi ve boşaltma yüksekliği fazla olduğu için, malzeme daha uzağa ve daha yükseğe dökülebilir.
- Kazı kuvveti büyük olduğu için sert zeminlerde daha rahat çalışılabilir.
- Çalışan personel sayısı azaltılır.

Ancak yüksek kapasiteli ekskavatörlerle çalışmanın bu avantajlarının yanında, birtakım dezavantajlarının da olduğunu unutmamak gerekir. Şöyle ki;

- Büyük ekskavatörlerin taşınması zor ve pahalıdır.
- Ekskavatörün arıza yapması durumunda kazı ve buna bağlı işlemler tamamen durur.
- Arıza durumunda, ekskavatörle birlikte çalışmakta olan, taşıyıcı grubundaki kamyonlar ve yardımcı iş makinaları da durmak zorunda kalır.

- Büyük bir ekskavatörün, parçalarının da büyük olmasından dolayı tamirat işlemleri daha uzun süre alır ve duraklama zamanı artar.[1]

Bütün bu olumsuzluklar iş programlarına yansiyarak planlardan sapmalara ve dolayısıyla ekonomik zararlara sebep olmaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada Ege Linyitleri İşletmesinde faaliyet gösteren, kapasiteleri; 15, 17 ve 20 yd³ (yardaküp; 0,764 metreküpe eşdeğer İngiliz hacim ölçüsü birimi) arasında değişen toplam 16 adet yüksek kapasiteli elektrikli ekskavatörün kepçe dişlerinde yaşanmakta olan ve makinaların sık sık duruşlarına sebebiyet veren kepçe diş kırılmalarının incelenmesi hedeflenmiş ve bu sebeple yaşanan gereksiz duruşların önlenerek makinaların daha verimli bir şekilde çalıştırılabilmeleri amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda mevcut problemi çözebilmek için yaptığımız çalışmada; orijinal kepçe dişi analiz ettirilerek aynı kimyasal yapıda numuneler elde edilmiş ve bu numuneler ısıtma işlemine tabi tutularak farklı ortamlarda su verme işlemi uygulanmıştır. Buna müteakip su verme işlemine tabi tutulan numune parçalara düşük, orta ve yüksek derecelerde farklı gerilim giderme tavlaları uygulanarak orijinal malzemenin mekanik özelliklerine en yakın özellikleri verecek olan işlem prosedürü belirlenmeye çalışılmıştır.

2. EKSKAVATÖRLER

Ekskavatörler; Madencilik ve İnşaat sektörlerindeki hafriyat ve dekapaj işlerinde, kazı ve yükleme için kullanılan iş makinalarıdır. En önemli özellikleri yer değiştirmeden, dönerek çalışabilme kabiliyetleri sayesinde yüksek verime sahip olmalarıdır. İhtiyaç ve kapasiteleri göz önüne alınarak değişik tip ve şekillerde imal edilmektedirler [1].

2.1 Ekskavatörlerin Sınıflandırması

Ekskavatörler, çalışma şekillerine göre ve tahrik şekillerine göre iki ana kategoride sınıflandırılabilirler.

2.1.1 Çalışma Şekillerine Göre

2.1.1.1 Beko Tip (Ters Kepçe) Ekskavatörler

Shovel (kürek) ekskavatörlerin aksine malzemeyi yukarıdan aşağıya doğru hareketle kazarak hafriyat yapan ekskavatör tipidir. Çalışma seviyesi taban seviyesinin altına düşebilen çalışmalarda (derin kazı) tercih edilen ekskavatörlerdir. Hızlı ve pratik olmaları en büyük avantajlarıdır. Her türlü kanal kazı işlerinde, sert toprak kazılarında, kazı ve boşaltma işlerinin birbirine yakın olduğu yerlerde, temel kazılarında, yükleme işlerinde, dar ve düzensiz çalışma alanlarında çokça kullanılmaktadırlar [11].

Palet seviyesinin altında kazabilme yeteneği nedeniyle bilhassa kanal kazılarına çok elverişlidir. Hidrolik güç avantajı ile koparma kabiliyetinin yüksekliğinden sert zeminlerin kazı işlemlerinde de rahatlıkla kullanılabilirler (Şekil 2.1) [1].



Şekil 2.1: Beko (ters kepçe) ekskavatör

2.1.1.2 Shovel (Kürek Tip) Ekskavatörler

Malzemeyi aşağıdan yukarıya doğru kazıyarak yükleme işlemi yapan ekskavatörlerdir. Çalışma esnasında kepçe, kaldırma ve saplama hareketlerinin birleşmesi ile malzemeye doğru sürülmek suretiyle doldurulur. Kepçe kapasiteleri ve koparma gücü yüksek makinalardır.

Yumuşak, orta sert ve sert yamaç kazılarında, kazı ve boşaltma işlerinin birbirine yakın olduğu yerlerde, taş ve maden ocaklarındaki parçalanmış taşların kamyonlara yüklenmesinde, temel kazılarında, hendeklerin kazılmasında kullanılırlar. Makinanın hareket ettiği kazı tabanı kürek kepçe çalıştıkça düzelir ve bu suretle kendisine yol açar. Yol yapma yetenekleri çok büyüktür ve kazı yerinin kenarlarını düzeltmeye son derece elverişlidir (Şekil 2.2) [1].

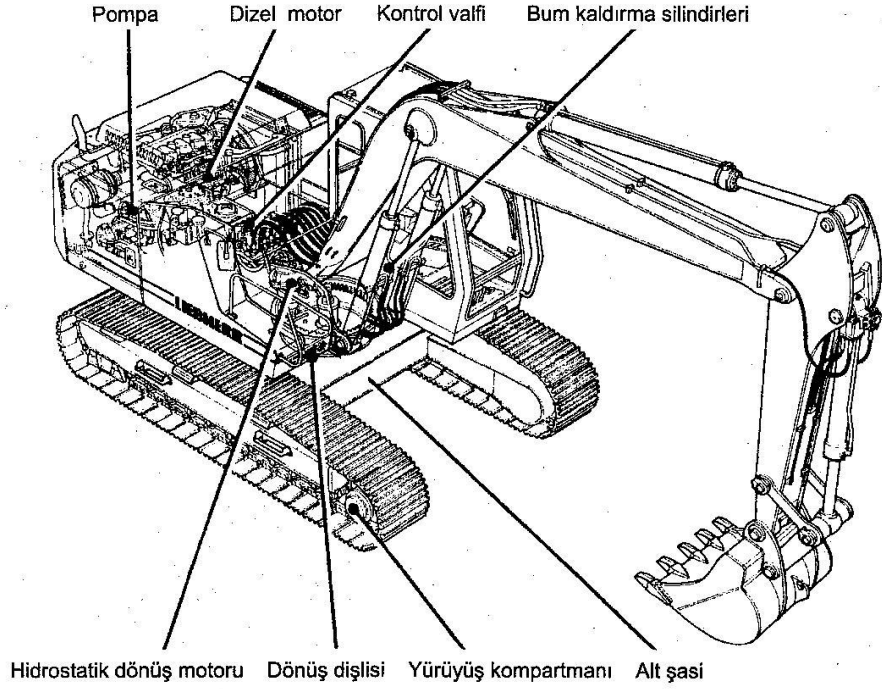


Şekil 2.2: Shovel tip (elektrikli) ekskavatör

2.1.2 Tahrik Şekillerine Göre

2.1.2.1 Hidrolik Ekskavatörler

Daha küçük işletmelerde ve devamlı değişen çalışma sahaları için tercih edilen ekskavatörlerdir. Güç kaynağı olarak bir dizel motorun tahrik ettiği “hidrolik pompa–hidrolik motor” sistemleri ile hareketler elde edilir. Paletli ve lastik tekerlekli olabilirler. Hazır, yumuşak malzemelerde ve makinanın çok sık yer değiştireceği sahalarda, lastik tekerlekli, koparma istenilen yerlerde ve uzun süreli çalışma alanlarında (makinanın çok sık yer değiştirmeyeceği çalışma sahaları) ise paletli makinalar tercih edilir. Arıza-bakım oranı ve işletme masrafları, elektrikli ekskavatörlere kıyasla daha fazladır. Mekanik ekskavatörlere göre hızlı ve pratik olup, hidrolik güç üstünlüğüne sahiptirler [3].



Şekil 2.3: Hidrolik ekskavatörün kısımları

2.1.2.1.1 Hidrolik Ekskavatörlerin Teknik Yapısı

Kule; Operatör kabini, motor kabini, karşı ağırlık, ana ve ara bom ile silindirler ve ataşmandan meydana gelir. Kule üzerindeki elemanlarla birlikte yürüyüş şasesi üzerine monte edilmiştir. İki arasında kulenin 360° dönüşüne olanak verecek şekilde bir daire dönüş dişli planet sistemi ve döndürme mekanizması mevcuttur. Yürüyüş, kule dönüşü, ataşman hidrolik sistemine ait hidrolik pompalar motor çıkışındaki bir redüktörden hareket alırlar. Kule dönüşleri yaygın olarak hidrostatik motorlarla yapılmaktadır.

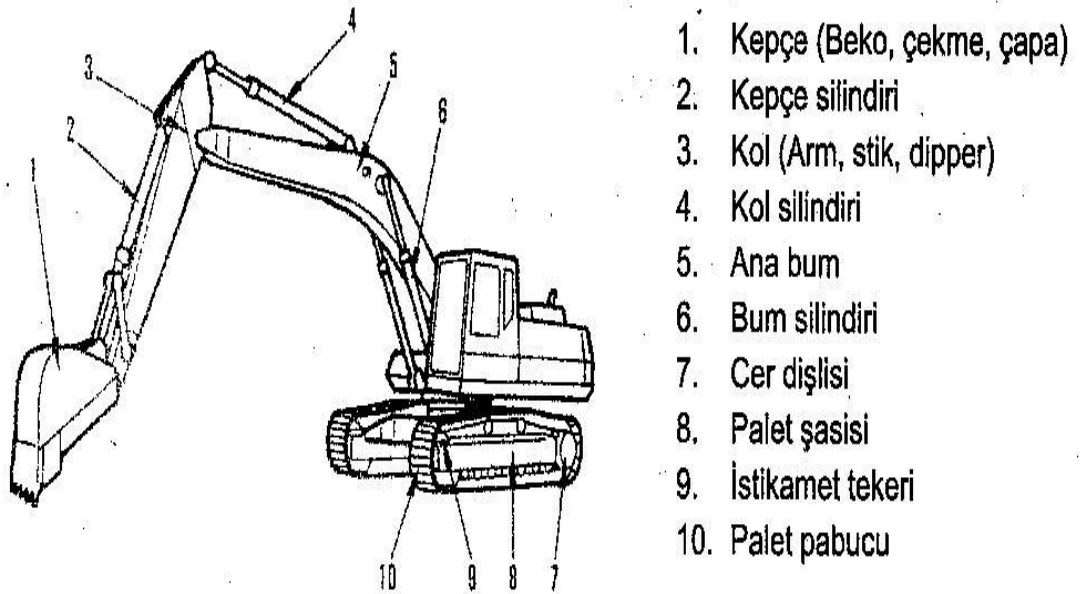
Karşı ağırlık denge ağırlığıdır. Bu ağırlık ekskavatörün, bom, kepçe, malzeme ağırlıklarını ve iş yükünü dengeler. Tek parçalı ve çok parçalı olabilirler. Denge ağırlığı makine üreticisi firma tarafından makinanın emniyetle çalışması göz önüne alınarak belirlenmiştir. Firmanın belirlediği limitler dışında denge ağırlıkları değiştirilemez [3].

Ana bom yaygın olarak deveboynu tipinde ve tek parçadır. İki parçalı ve hidrolik ayarlanabilir tipleri de mevcuttur. Bomu teleskopik olan ekskavatörler de

mevcuttur. Bom üst kuleye bağlı iki adet hidrolik kaldırış silindiri vasıtasıyla hareket ettirilir. Maden ocakları, gölet ve baraj inşaatları gibi yüksek seviyedeki, askıdaki malzemelerin kazılmasında, zeminden aşağıdaki kazılarda, boru hatları döşenmesinde ve tesis yıkım işlerinde sıkça kullanılırlar.

Palet yürüyüş şasisi; Genel olarak X tipi bir şasinin her iki yanında bulunan paletli yürüyüş sistemi tam hidrostatiktir. İki adet hidrostatik motor palet sistemindeki cer kompartımanlarını tahrik eder. Hidrostatik yürüyüşe haiz olmalarına rağmen yürüyüş iki hız kademesi ile sağlanabilmektedir.

Operatör kabini; Kule üzerindeki operatör kabini içinde kumanda ve kontrol düzenleri ile yardımcı tertibatlar bulunur. Günümüzdeki modern makinaların kumanda düzenleri ile kontroller elektronik sistemlerle sağlanmaktadır. Modern operatör kabinlerinde joystick kumanda kolları, elektronik monitör sistemi, dijital göstergeler ve sesli uyarılar bulunmaktadır [3].



Şekil 2.4: Hidrolik ekskavatörün şematik gösterimi

2.1.2.2 Elektrikli Ekskavatörler

Genellikle maden işletmelerinde, rezervin ve çalışma sahasının çok geniş olduğu, makinaların çok sık yer değiştirmedeği maden sahalarında kullanılan yüksek kapasiteli makinalardır. Ana güç, şebeke tarafından beslenen elektrik enerjisinin beslediği elektrik motorları sayesinde temin edilir. Bu motorlar doğrudan DC statik güç konverter sistemli veya motor-jeneratör setli olabilmektedir. Makine için gerekli güç, elektrik motorlarının tahrik etmiş olduğu değişik tahvil oranlarına sahip dişli sistemleri sayesinde elde edilir. Genel olarak 3300 volt A.C. veya 6000 volt A.C. ile çalışmaktadırlar. İşletme ve bakım masrafları düşük olmasının yanında kapasiteleri ve verimleri oldukça yüksektir.

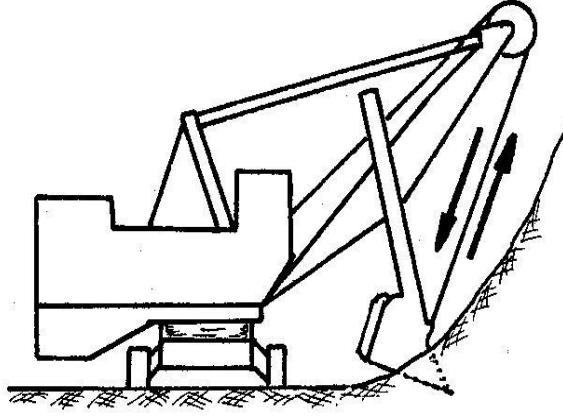


Şekil 2.5: Shovel elektrikli ekskavatör yükleme esnasında

Elektrikli ekskavatörlerin dört temel hareketi vardır. Bunlar; yürüyüş (propel), dönüş (swing), itme (crawl) ve kaldırma (hoist) hareketleridir. Hareketler; üst şaside bulunan operatör kabini içerisindeki levye, pedal ve düğmeler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Büyük kapasiteli ekskavatörlerde operatörün yorulmasını önlemek amacıyla kumanda levyeleri hidrolik ve pnömatik sistemlerle desteklenmektedir [11].

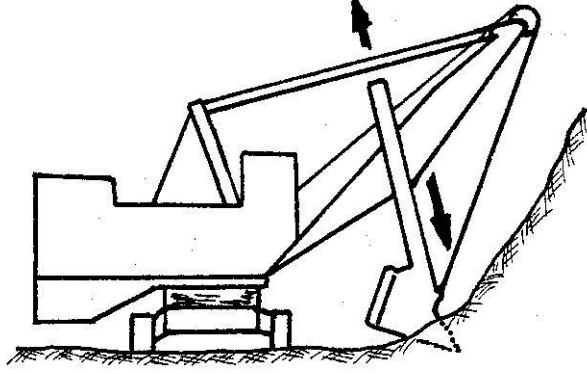
2.1.2.2.1 Elektrikli Ekskavatörlerin Hareketleri

Hoist (kaldırma) hareketi; Ekskavatörün kepçesinin aşağı-yukarı hareketine “hoist” hareketi denilir. Makinaların çalışmasında en çok güç harcanan ve en çok kullanılan harekettir. Bu nedenle en güçlü motor bu sistemdedir. Bu hareket kepçenin, ayna tabanından başlayarak pasaya dalması ve hoist halatının tambura sarılması ile kepçenin yukarıya doğru hareket ederek pasa (hafriyat) doldurması ile oluşur. Hoist tahrik mekanizması, (dişli sistemleri ve hoist tamburu) hoist halatları, bom makaraları, kepçe bağlantı ayı ve kepçe denge mekanizması, bu hareketi oluşturan sistemin elemanlarıdır.



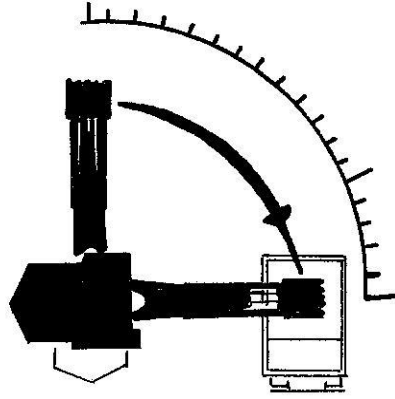
Şekil 2.6: Hoist (kaldırma) hareketi

Crawd (itme-çekme) hareketi; Ekskavatörün kepçesinin bağlı olduğu kolun (krameyer kolu) ileri ve geri hareket etmesine “crawd” hareketi denilir. Kolun ileri-geri hareket ettirilmesi ile krameyer koluna bağlı olan kepçenin de hareket etmesi sağlanır. Krameyer tahrik mekanizması (crawd motoru, crawd dişlisi, crawd pinyon dişlileri), krameyer kolları, kepçe bağlantı mekanizmaları ve kepçe, bu hareketi oluşturan parçalardır. Kepçenin doldurulması ve yükleme işi, Crawd (itme) hareketi ile hoist hareketinin birlikte yapılması ile gerçekleştirilir [5,6,11].



Şekil 2.7: Crawl (itme-çekme) hareketi

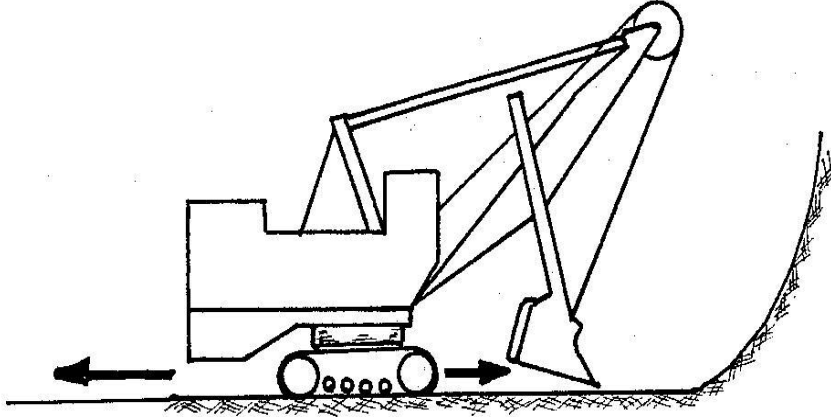
Swing (dönme) hareketi; Ekskavatörün üst kulesinin, kendi eksenini etrafında sağa veya sola 360° dönmesini sağlayan harekettir. Bu hareket sayesinde kazı ve yükleme esnasında üst şasesinin, dolayısıyla üst şasesinin bir parçası olan kepçenin de istenilen pozisyonu alması sağlanır. Sistem; sağ ve solda bulunan iki adet swing (dönüş) motorları ve onların bağlı bulunduğu dişli mekanizmaları ile nihai hareketi veren gövdenin alt kısmında bulunan iki adet swing pinyon dişlisi ve bu dişlilerin etrafında dönmüş olduğu alt yürüyüş şasesine bağlı harman (çember) dişlisinden oluşmaktadır.



Şekil 2.8: Swing (dönüş) hareketi

Makina çalışma sahasının genişliğine bağlı olarak tek taraflı veya 90'ar derecelik toplam 180 derece açı içerisinde iki taraflı olarak yükleme yapılabilir. Ekskavatörlerin kapasitesinden azami fayda sağlayabilmek için, kamyon sayıları ve geliş-gidiş periyotları çok iyi hesaplanmalıdır [5,6,11].

Propel (yürüyüş) hareketi; Ekskavatörün komple ileri ve geri hareketine propel (yürüyüş) hareketi denilmektedir. Hareket, makinanın arka kısmına bağlı olan yürüyüş elektrik motoru ile sağlanır. Sistem; Yürüyüş motoruna bağlı dişli sistemleri (yürüyüş redüktörü ve cer dişli grubu) ile yürüyüş şasesine bağlı olan cer tekerleri ve istikamet tekerleri ile bunların üzerine sarılı olan paletlerden oluşmaktadır. Hareket normalde doğrusal olup, sağa veya sola yönlendirme, palet dönüş sisteminin tek taraflı olarak kilitlenmesi ve bunun sonucunda makinanın, serbest paletin hareketiyle kilitli olan palet üzerinde dönmesi ile sağlanır. İstenen yöne gelen makine, palet kilitleme sisteminden çıkartılarak doğrusal yürüyüş hareketine devam edilir.

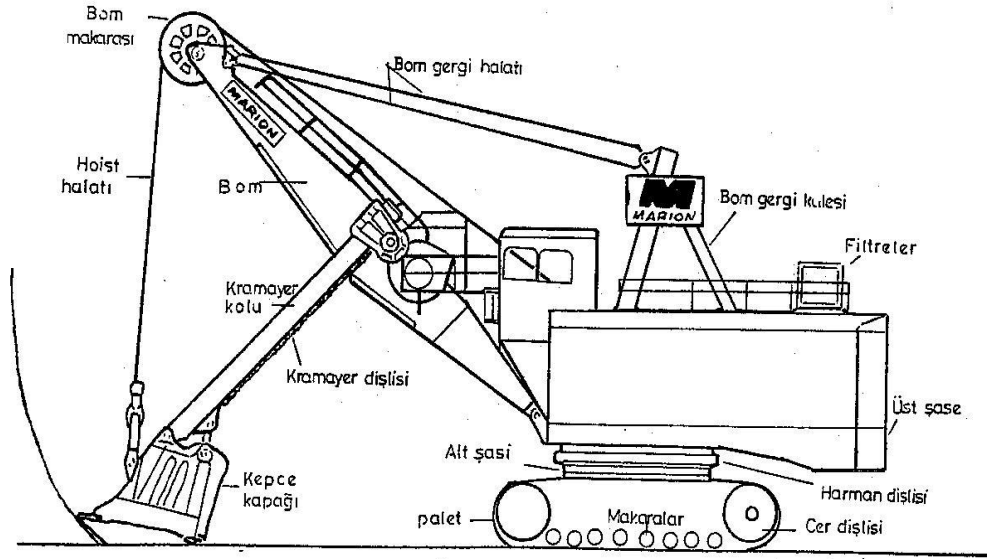


Şekil 2.9: Propel (yürüyüş) hareketi

Sistem statik olarak dengededir. Yük, palet ana mili vasıtasıyla ve yürüyüş makaraları üzerinden palet zincirine ve oradan zemine iletilir. Hareket için tahrik çarkına (cer tekeri) dönme momenti verilir.

Paletli alt kısımlarda dönemeçler alınırken, yürüyüş makaralarının bıraktığı iz daima bir doğrudur. Palet pabuçlarının buna rağmen dönemeçleri alabilmesi için, zemin üzerinde kesik dönüşler yapılması gerekir. Bunu yaparken meydana gelen sürtünme kuvvetinden dolayı, tahrik motorlarında harcanan güç, normal yürüyüşlerde gerekli olandan çok çok fazladır [5,11].

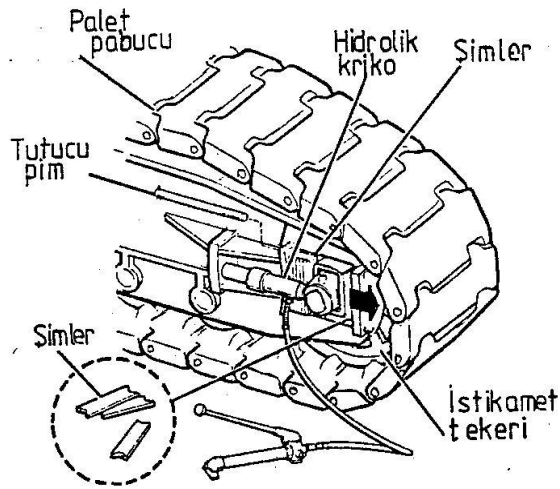
2.1.2.2.2 Elektrikli Ekskavatörlerin Teknik Yapısı



Şekil 2.10: Shovel ekskavatörün genel görünüşü

Yürüyüş şasesi; Makinanın ileri-geri hareketini yaptıran mekanizmaları taşıyan kısımdır. Paletler, yürüyüş (taşıyıcı) makaraları, istikamet tekerleri, cer tekerleri, cer dişli grubu ve yürüyüş motoru, yürüyüş şasesinin elemanlarıdır.[7]

Paletler; Makinanın her türlü arazi şartlarında (taşlık, çamurlu, yumuşak vs) kolayca hareket edebilmesini sağlayan, birbirine pimlerle bağlı, aşınmaya ve kırılmaya mukavim pabuçlardır [5,6,11]



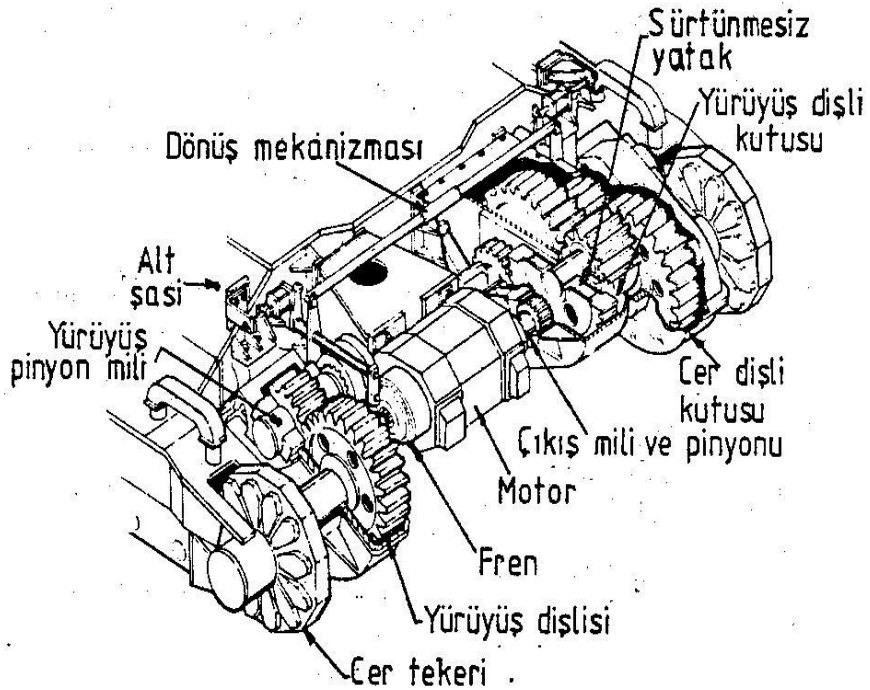
Şekil 2.11: Palet pabuçları ve palet germe mekanizması

Yürüyüş (taşıyıcı) makaralar; Makinanın ağırlığını eşit olarak paletler üzerine dağıtan makaralardır. Sabit mil üzerine yataklanmış olup, iç kısımlarında bulunan bronz burçlar etrafında dönmektedirler.

İstikamet tekerleri; Yürüyüş şasilerinin ön tarafında paletin kolayca dönmesini sağlayan, aşınmaya dayanıklı yüksek özellikli döküm makaralardır. Aynı zamanda paletlerin gerilmesini sağlayan mekanizmanın bir parçasıdır. Yürüyüş şasisi üzerindeki bloklara yataklanmış sabit bir mil üzerinde dönerler. Paletlerle birlikte dönerek hareket ederler.

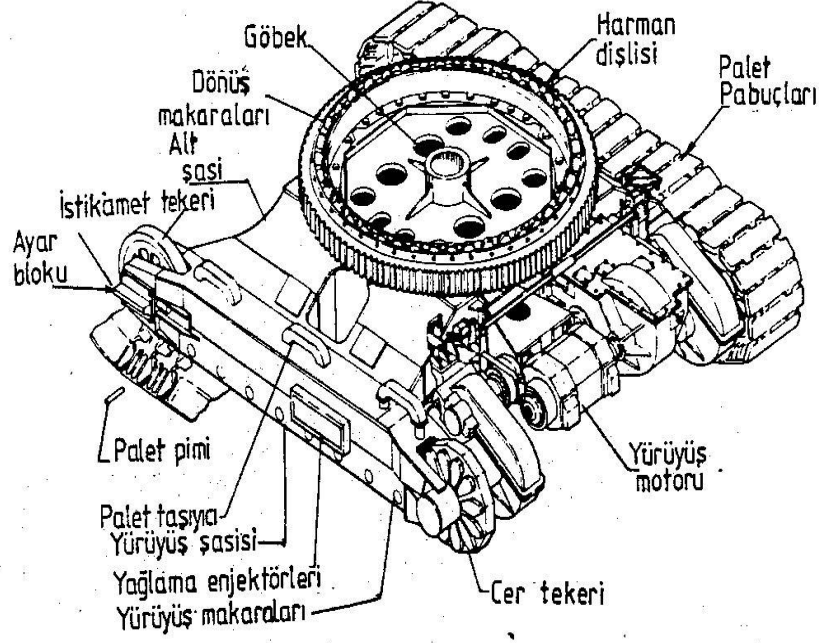
Cer tekerleri; Makinanın yürüyüş tahrik sisteminden aldığı dönme hareketini, palet pabuçları üzerindeki tırnaklara kendi üzerinde bulunan yuvalar vasıtasıyla dayanarak, yürüme hareketini sağlayan en önemli parçadır. Yürüyüş tahrik sisteminin sonundaki cer pinyon dişlisinin tahrik ettiği bir dişli ile aynı mile sıkı geçmiştir.

Cer dişli grubu; Yürüyüş pinyon mili ve onun tahrik ettiği cer dişlisine bağlı yürüyüş dişlisini içinde barındıran ve onlara yataklık eden bir dişli kutusudur [6,11].



Şekil 2.12: Cer sistemi

Ana alt şasi; Harman dişli, alt ve üst raylar, döner makaralar ve göbek milinden oluşan kısımdır.[7]

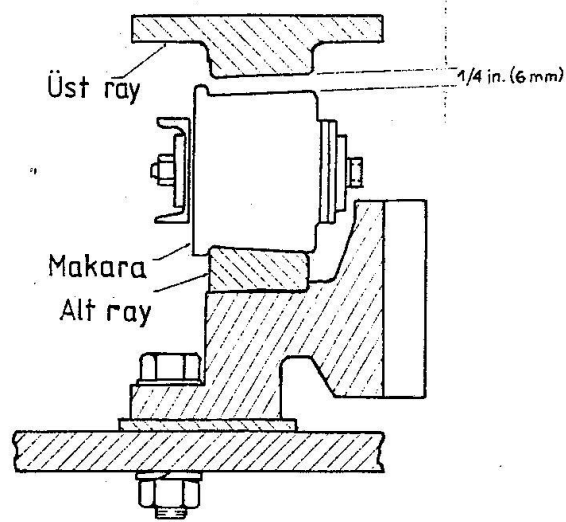


Şekil 2.13: Ana alt şasi

Harman dişli; Swing motoru tarafından tahrik edilen bir pinyon dişliye yataklık ederek makine üst kulesinin 360° dönmesine yardımcı olan, makine alt şasisine sabit dairesel dişlidir. Makinanın büyük öneme haiz parçalarından biridir.

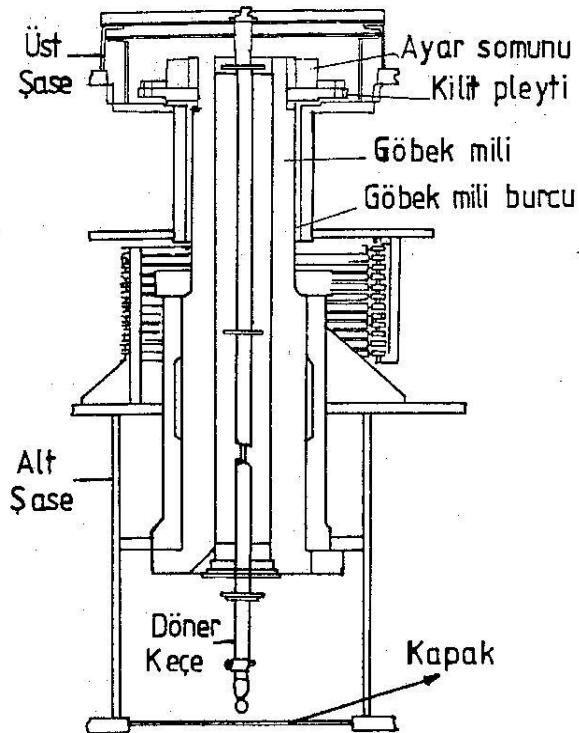
Alt ve üst raylar; Harman dişlisine kaynak ve civatalarla bağlı bir çemberdir. Döner şasinin ve ön şasinin ağırlığını bu çember taşır. Kısaca makinanın üst kule ağırlığını taşıyan ve döner makaralara yataklık eden kısımdır.

Döner makaralar; Üst şasinin ve ön şasinin ağırlığını alt şasiye ileten, dönmeyi kolaylaştıran, ortalarından geçen mil tutucular vasıtasıyla yataklanan makaralardır (Şekil 2.14) [6,11].



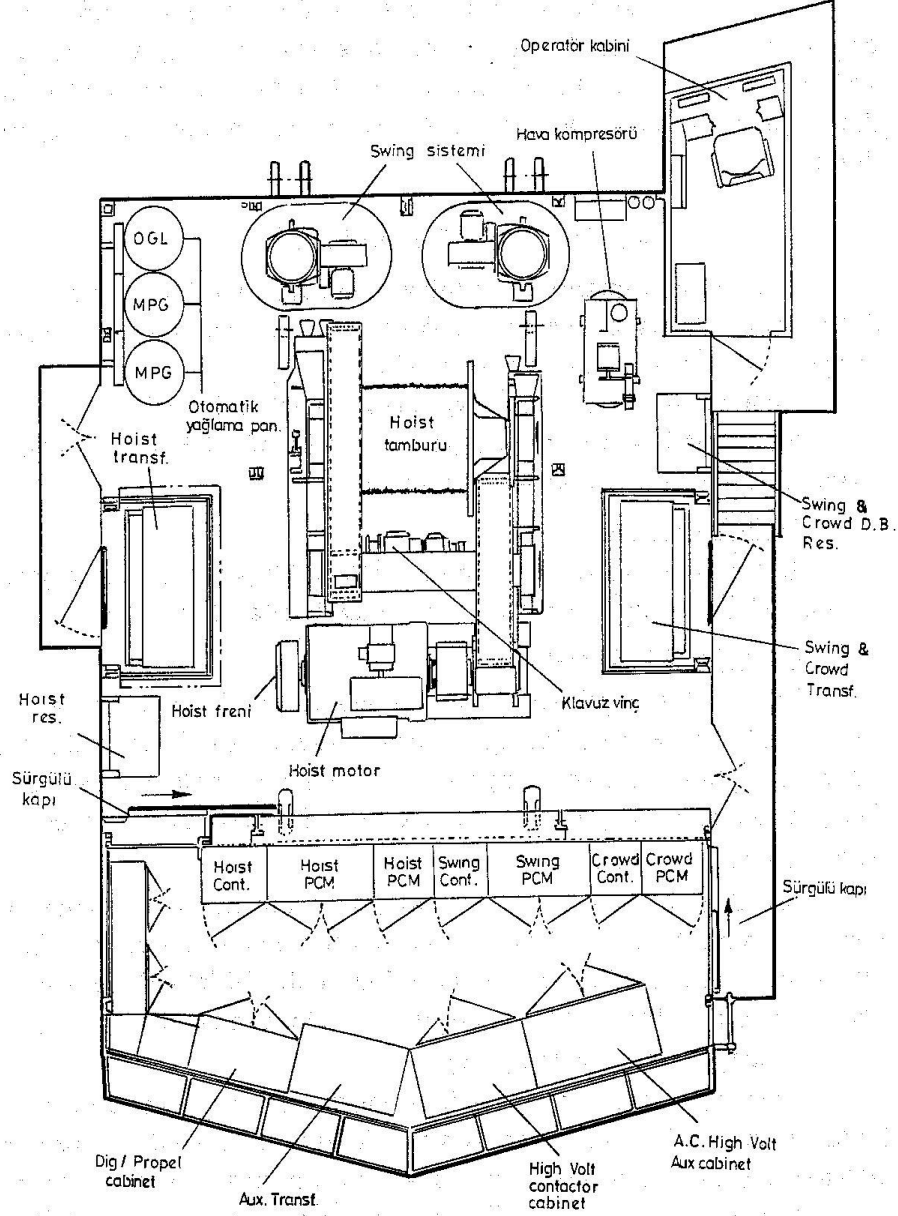
Şekil 2.14: Alt ve üst raylar, kule dönüş makarası ve harman dişli kesiti

Göbek mili; Alt ve üst şasinin merkezlenmesini sağlar, aynı zamanda kazı tepkimesini alt şasiye iletir. Üst şasi göbek miline bu milin üstünde bulunan büyük bir somun vasıtasıyla bağlanır. Göbek pimi aynı zamanda, içinden geçen bir tüp yardımıyla üst ve alt şasi arasındaki tüm bağlantıları sağlar. Tüm basınçlı hava, yağ ve elektriksel iletim bu mil içerisinden sağlanır [6,11].



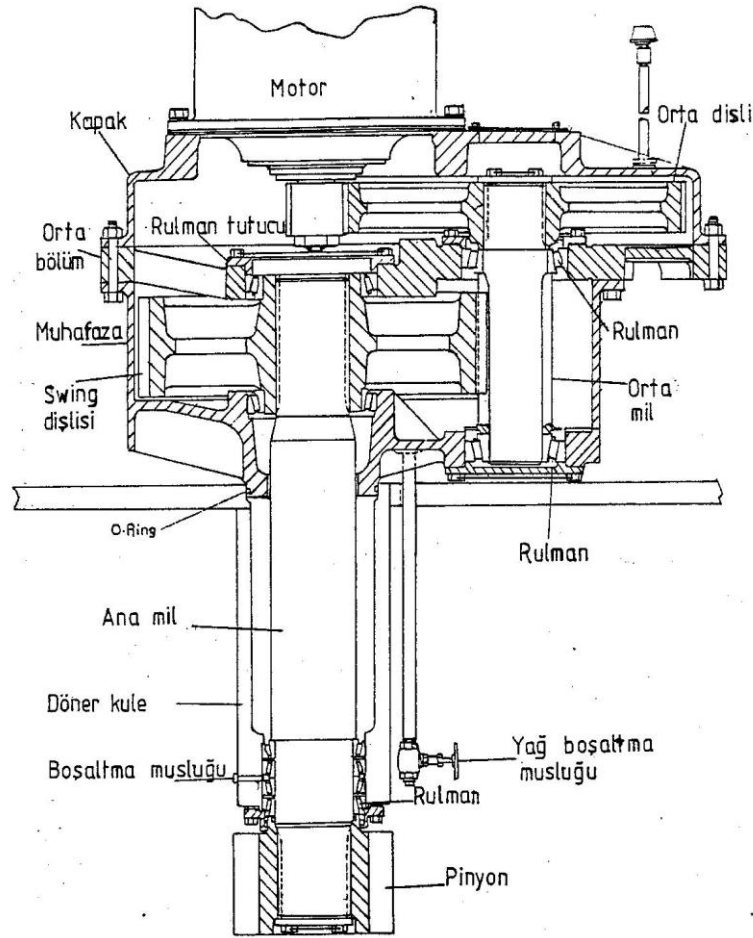
Şekil 2.15: Göbek mili, göbek burcu ve göbek somunu

Üst şasi; Swing sistemi, hoist sistemi, bom gergi ayakları, trafolar-elektronik üniteler, kompresör, yağlama sistemi, operatör kabini, basınçlı hava fanları ve operatör kabin havalandırıcılarının bulunduğu kısımdır [6,11].



Şekil 2.16: Üst şasi genel yerleşim planı

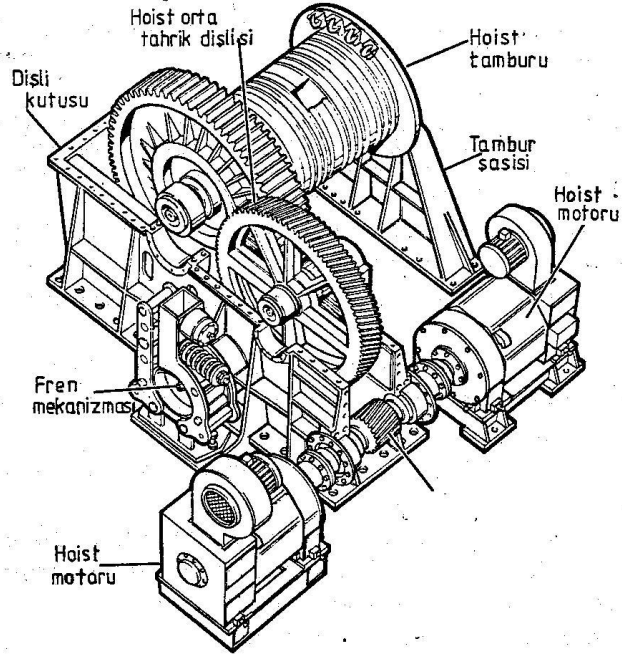
Swing sistemi; Swing (dönüş) mekanizması ekskavatörün üst şasisinde şasi platformunun ön sağ ve solunda olmak üzere iki adettir. Swing mekanizması, iki adet birbirine eşdeğer doğru akım elektrik motorundan güç alır. Motorlar devir ve moment ayarı için kapalı bir redüktör (dişli kutusu) üzerine monte edilmişlerdir. Motorların dönü hareketi redüktör dişlileri tarafından şasinin altına doğru uzanan swing miline iletilir. Swing mili üzerine bağlı pinyon dişlilerinin alt şasi üzerine sabit, harman dişlisi üzerinde yuvarlanması ile üst kule dönüş hareketi sağlanmış olur [6,11].



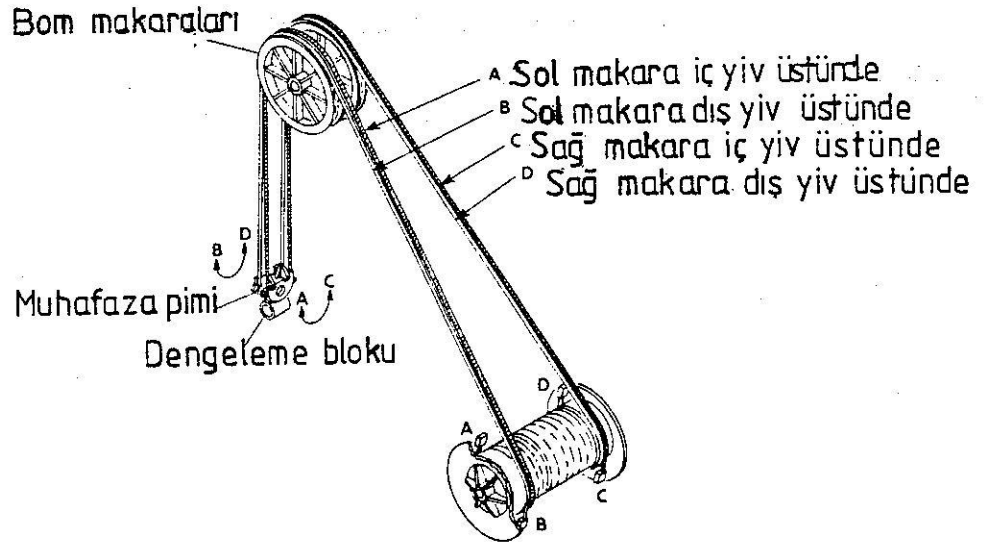
Şekil 2.17: Swing (dönüş) mekanizması

Hoist sistemi; Ekskavatörün kazı işlemi yaptığı esnada kazı ve yükleme işlemini yapan kepçenin, aşağı ve yukarı hareketini sağlayan halatların, üzerinde halat yuvalarının (yiv) bulunduğu bir tambur üzerine, sarılmasını ve boşaltılmasını sağlayan mekanizmadır. DC elektrik motorundan tahrik alan mekanizma, üst şasinin orta kısımlarına civatalarla sabitlenmiştir. Sistem; hoist motoru, bağlantı kaplinleri,

aktarma dişlileri, hoist tamburu ve yatakları, hoist halatları ve kepçeden oluşmaktadır [6].



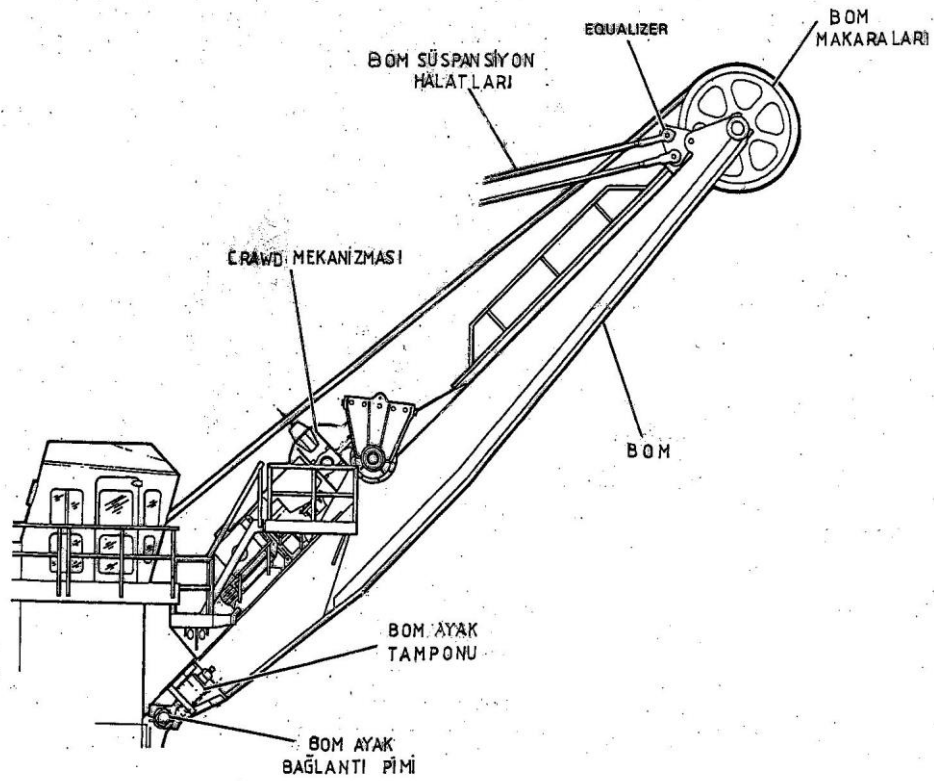
Şekil 2.18: Hoist tamburu ve mekanizması



Şekil 2.19: Hoist halatları ve sarım sistemi

Ön şasi; Bom, bom gergi halatları, bom makaraları, krameyer sistemi ve kepçe sisteminden oluşan kısımdır.

Bom; Makinanın ön şasisini meydana getiren, yüksek dayanımlı çelik saçların kaynaklı birleştirilmesi ile imal edilmiş olan bir parçadır. Makinanın üst şasisine, alt ucundan hareketli birer pimle, iki tarafından yataklanarak birleştirilmiştir. Üst ucundan ise, gergi halatları yardımıyla üst şasi gergi kollarına bağlıdır [6].

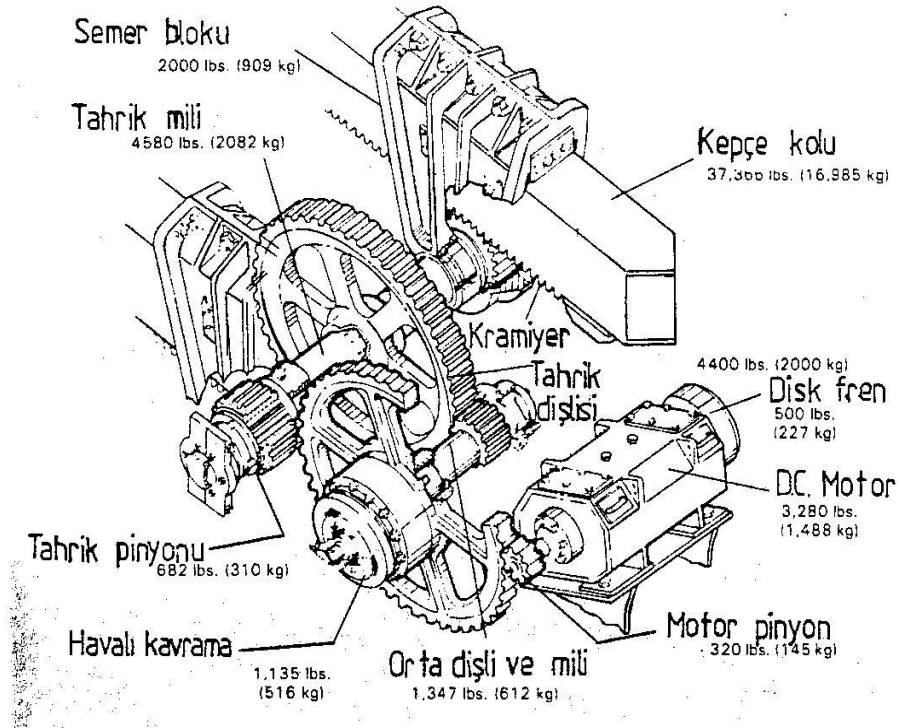


Şekil 2.20: Bom ve bileşenleri

Bom gergi halatları; Bomun üst şasiye bağlantısını sağlayan, darbeli bir hareket olan kazı işinden ötürü, makinaya ve boma gelen yükleri karşılayan, süspansiyonu sağlayan halatlardır. Bunlar 4 eş adet olup, salınlı (terazili) bir sistemle, bir uçları bom uç noktasına, diğer uçları ise gergi kollarına bağlıdır. Gergi kolları ise, ön ve arkada ikişer ayakla toplam dört ayak olmak üzere üst şasiye büyük çaplı pimlerle bağlanmıştır [6]. Eşitleyiciler (terazi sistemi), gergi kulesinin üstüne

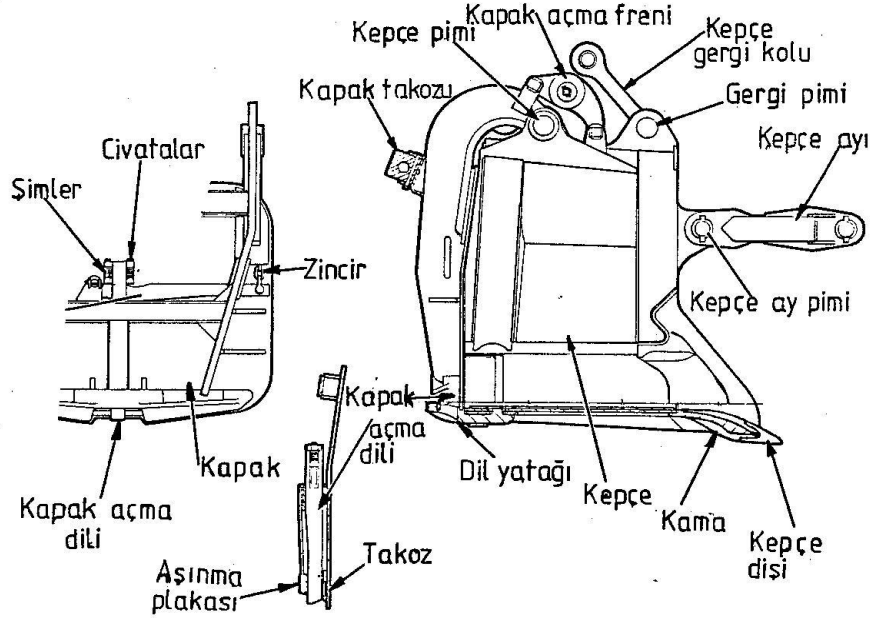
monte edilmiş olup, bom gergi halatlarını tutarak, bu halatlara eşit yük dağılımını sağlarlar.[8]

Krameyer sistemi; Krameyer mekanizması bomun orta kısımlarında yer alır. Ekskavatörün kazma işlerini yerine getiren kepçenin, kepçe kolu vasıtasıyla ileri ve geri hareketini sağlayan mekanizmadır. Bu mekanizma, crawd (krameyer) DC elektrik motoru, dişli kutusu, transmisyon, aktarma mili, pinyonlar, semer blokları, kepçe kolları, fren sistemi ve limit switch'ten ibarettir. Krameyer kolları, crawd motorundan hareket alan dişli mekanizması üzerinden, bomun sağ ve sol tarafında bulunan iki adet pinyon dişlisinin hareket ettirilmesi sonucunda, kollar üzerine kaynakla bağlı krameyer dişlilerinin ötelenmesi ile hareket ettirilir [11].



Şekil 2.21: Krameyer kolları ve hareket mekanizması

Kepçe; Kazı işlemini yapan ve kepçe kolunun sonunda yer alan, çelik döküm bir parçadan meydana gelmiş olan bir mekanizmadır. Sistem; kepçe gövdesi, kepçe kapağı, kapak freni, kapak açma mekanizması ve halatı ile kepçe dişlerinden oluşmuştur.



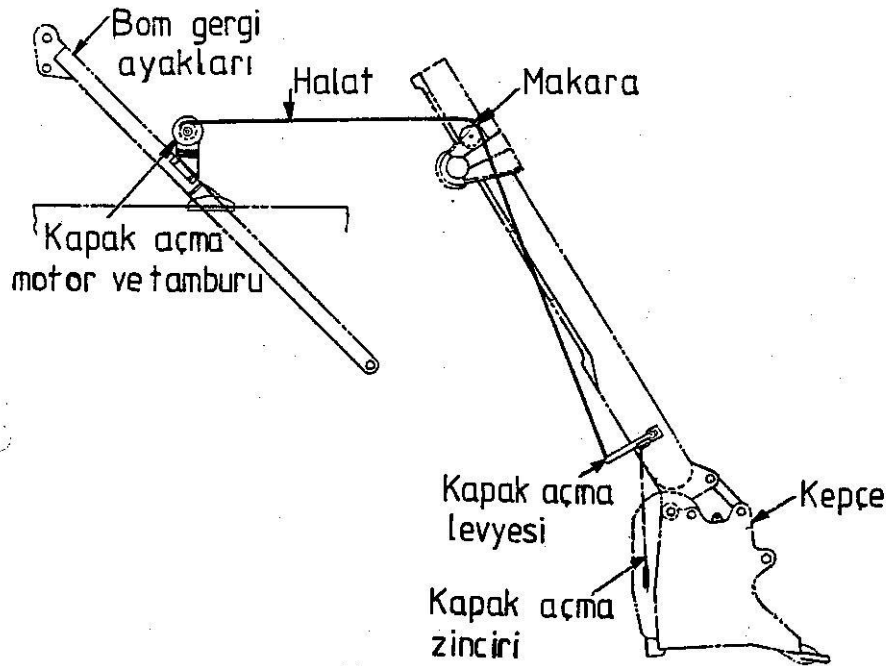
Şekil 2.22: Kepçe ve kapak sistemi

Kepçe gövdesi; Çeşitli formlar verilerek, yük, darbe ve aşınma dayanımı artırılmış, ön ve arka kısımları açık, çelik döküm olarak imal edilmiş olan bir yapıdadır. Üzerinde, kapak mekanizması ile karmeyer koluna bağlantı mekanizmalarını taşır.[8]

Kepçe kapağı; Makinanın kazıya girdiği esnada, üzerinde bulunan dilin kepçe ana gövdesi üzerindeki yuvasına oturmasıyla, kepçenin arka kısmını kapatarak kepçeye malzeme dolmasını sağlayan, yükleme esnasında ise açılarak kepçe içine alınmış olan malzemenin boşaltımını sağlayan kısımdır.

Kapak açma freni; Kepçe ana gövdesi üzerine montajlı olan, deveboynu şeklindeki kollarla da kepçe kapağına bağlanan bu mekanizma, kepçe kapağının, kapanması esnasında kepçe ana gövdesine hızlı bir şekilde vurmada, kepçenin, kapağın ve kepçe kilit mekanizmasında bulunan kilit dilinin hasar görmesini engellemek için konulmuş olan yavaşlatma düzeneğidir [11].

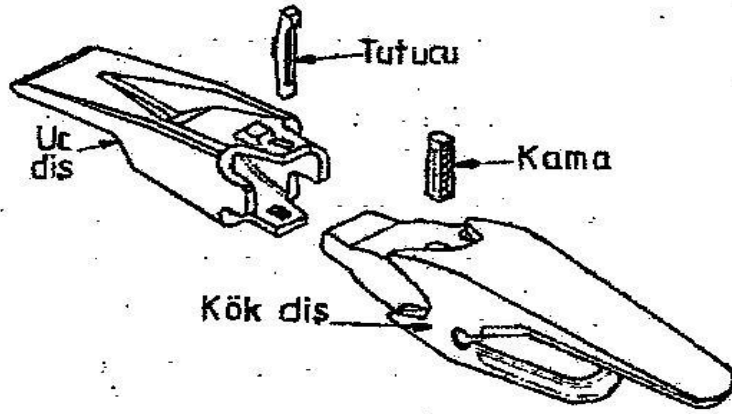
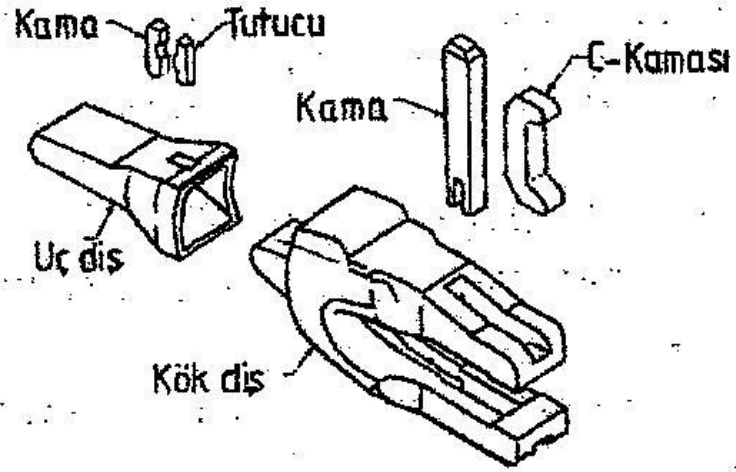
Kapak açma mekanizması; Bu sistem; Kapak açma motoru, kapak açma halatı, kapak açma zinciri ve kapak açma dilinden oluşmaktadır. Operatör kabini içinde bulunan kumanda levheleri üzerine monte edilmiş olan kapak açma mandalının basılması ile enerjilenen kapak açma motorunun, kendisine bağlı olan kapak açma halatını çekmesi üzerine, halata bağlı olan kapak açma dilinin kepçe ana gövdesi üzerindeki yuvasından çıkması ile kapağın açılarak kepçe içerisindeki malzemenin boşaltılmasını sağlayan sistemdir.



Şekil 2.23: Kepçe ve kapak açma sistemi

Kepçe dişleri; Kepçe ana malzemesini koruyan, kazı işlemini kolaylaştıran, makinanın çalışma verimini direkt olarak etkileyen elemanlardır.

Kepçe ana malzemesine (kepçenin ön alt kısmı), ekskavatör tipine ve kapasitesine göre değişen miktarlarda takılırlar. Doğrudan gövdeye takılanlar olduğu gibi, gövdede sabit, kaynaklı kök diş denilen bir adaptörle de takılanlar vardır. Dişler adaptöre bir kama vasıtasıyla lastik bir tutucu ile sıkıştırılarak, gerektiğinde değiştirilmek amacıyla sökülebilir bir biçimde bağlanırlar. Yükleme esnasında malzemeye ilk dalan, saplanma kuvvetini arttıran ve kepçenin aşınmaya karşı savunmasız alanlarını koruyan en önemli parçadır.[5,6,11].

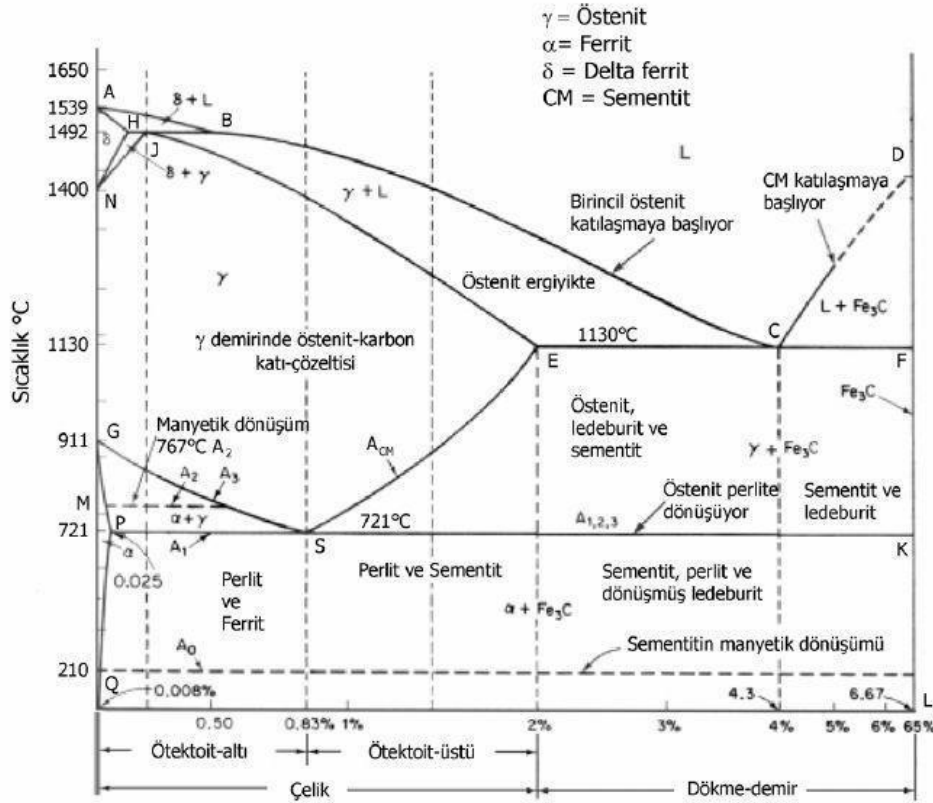


Şekil 2.24: Kepçe diş ve diş adaptörleri

3. ÇELİK MALZEMENİN İÇYAPISI

3.1 (Fe-C) Denge Diyagramı

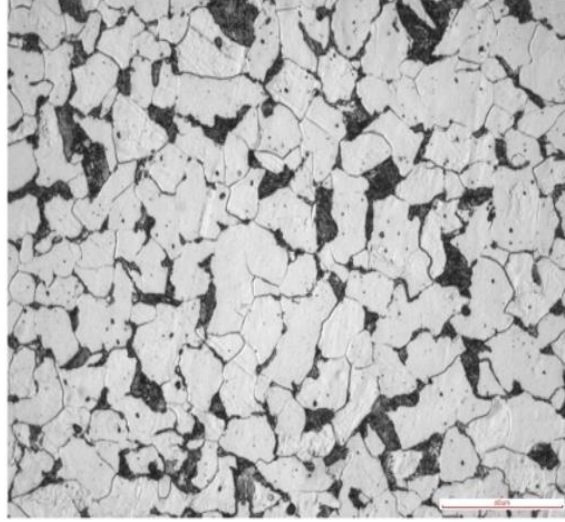
Çelik, maximum % 2,06 C içeren ve ek işlem gerektirmeksizin şekillendirilebilen Demir- Karbon alaşımı olup, genellikle sünek bir malzemedir. Bu alaşımda istenilen mekanik özellik düzeylerine ulaşabilmek için gerekli içyapıları oluşturmak gerekir. İstenilen içyapıları oluşturabilmek için çelik, tek fazın ya da iki fazın dengeli kalabildiği bir sıcaklık aralığında ısıtılır ve sonrada gereken hızla soğutulur. Çeliğe uygulanan tüm ısıl işlemlerin temelinde Fe-C çizelgesinde gösterilen fazlar ve dönüşüm sıcaklıkları esas alınır [12].



Şekil 3.1: Fe-C Denge diyagramı

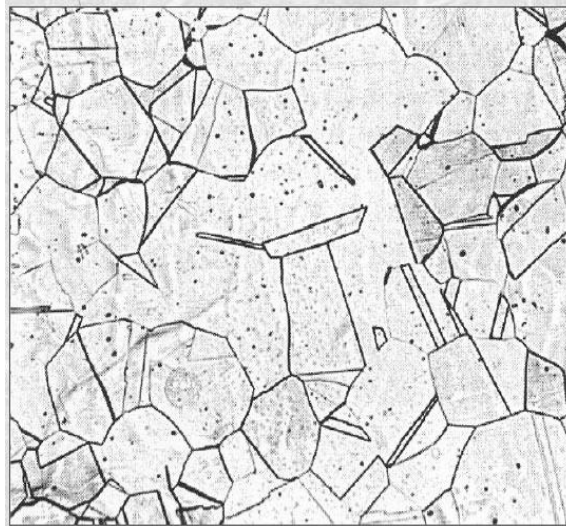
Şekil 3.1’de açıkça görüleceği gibi, sıvı faz bölgesinin dışında önemli olan yalnızca üç adet tek fazlı bölge bulunmaktadır. Bu üç bölge içinde dengeli durumda olan üç ayrı faz şunlardır:

Ferrit; Demir anlamına gelen, latince ferrum teriminden türetilmiştir. Kristal yapısı hacim merkezli küp olan α - katı çözültisi içinde en fazla % 0,025 C çözünebilir. Oda sıcaklıklarında karbon çözünürlüğü % 0,0025 C değerine iner. Ferrit, çeliğin en yumuşak ve en sünek fazıdır. (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Ferritik yapı

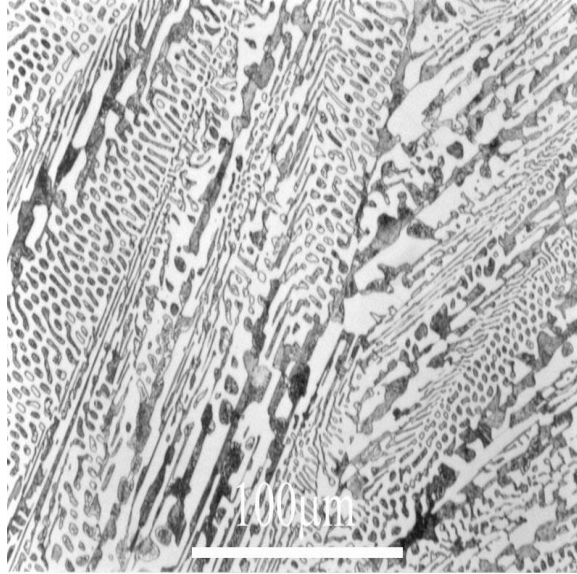
Ostenit; İngiliz metalbilimcisi Sir William Roberts-Austen'in adından türetilmiş bir terimdir. Yüzey merkezli küp yapılı γ - katı çözültisi, ötektik sıcaklıkta ($\approx 1130^{\circ}\text{C}$) en çok % 2 ve ötektoid sıcaklıkta (721°C)'da en çok % 0,8 karbon çözebilen bir katı çözültidir [2]. Yumuşak ve sünektir. (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Ostenitik yapı

Sementit (Fe_3C); “Kaba taş” anlamına gelen latince “caementum” teriminden türetilmiştir. % 6,67 C içeren ve 1200°C altında ısı-devingen (=termodinamik) olarak dengesiz duruma geçen bir demir karbürdür. Çeliğin içyapısındaki en sert ve kırılğan fazdır [2].

Demir–karbon alaşımlarının içyapılarında önemli olan, bu fazların yalın durumları değil, ötektik ve ötektoid tepkimeler sonucu oluşan faz karışımlarıdır. Ötektik tepkime, 1130°C sıcaklıkta % 4,3 C içeren demir-karbon eriğinin ostenit ve sementit fazlarına dönüşmesi biçiminde olur. Bu dönüşüm sonucunda, ostenit (γ) ve sementit (Fe_3C) fazları daima belirli bir oranda ve kolayca tanınabilecek katılaşma görüntüsü içindedir. Oluşan bu faz karışımına “ledeburit” adı verilir. (Şekil 3.4).

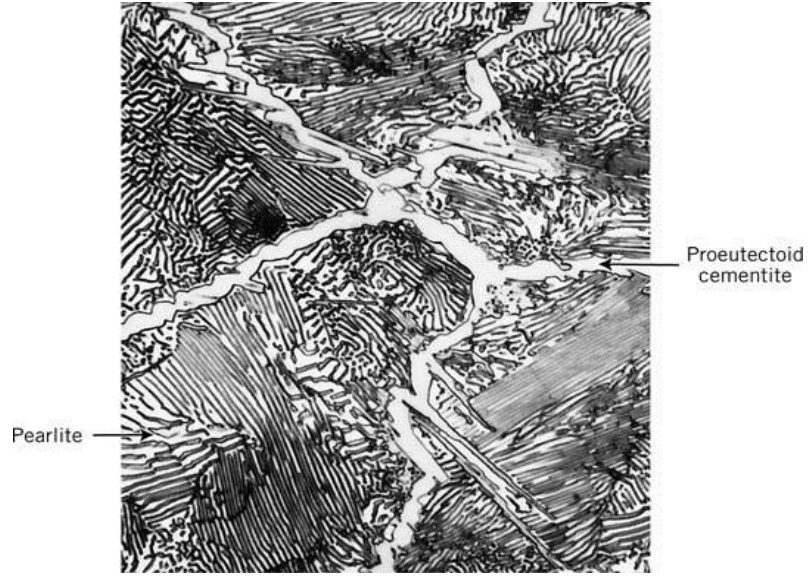


Şekil 3.4: Ledeburit Yapı

Ötektoid tepkime; bir katı fazı, soğuma sonucu iki ayrı katı faza dönüştüren tepkimeye verilen addır. Demir-karbon alaşımlarında bu tepkime 721°C sıcaklıkta % 0,80 C içeren ostenitin, ferrit ve sementitten oluşan bir faz karışımına dönüşmesi biçiminde olur. Bu ötektoid karışıma “Perlit” adı verilir. (Şekil 3.5). Perlit, adını; onu ilk bulan Sorby, inci gibi parlayan bileşen (pearly constituent) anlamında takmıştır. Perlit, demir-karbon alaşımlarında çok önemli bir yer tutar. Önemi; ferritin yalnız başına yumuşak ve sünek, sementitin ise sert ve kırılğan olmasına karşın perlitin, yüksek bir dayanım düzeyine ulaşmasındandır.

Perlite bu özelliği, yapısındaki sementitin, ferrit ana yapı içinde art arda dizilmiş yaprakcıklar (lamella) biçiminde oluşması sağlar [2].

Demir-karbon alaşımlarının % 2 C'dan fazla karbon ierenlerinin yapısında ledeburit görülür. (bkz. Şekil 3.4).



Şekil 3.5: Perlit ve sementit yapıları

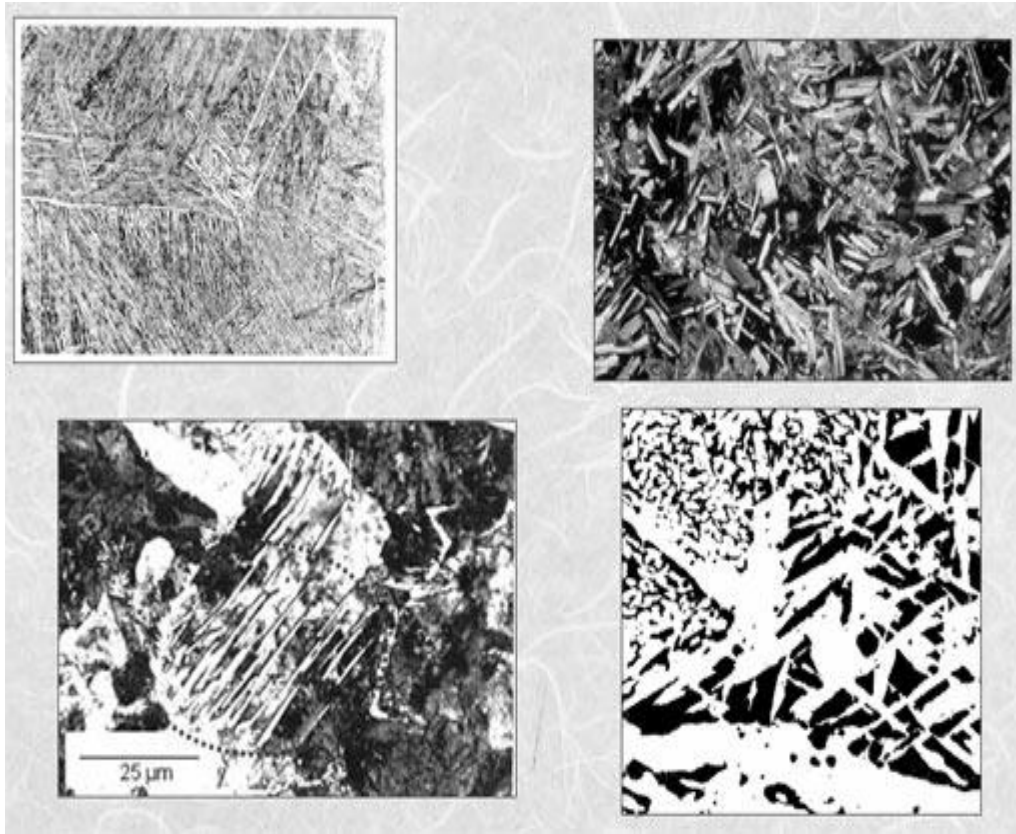
Sanayiide kullanılan çeliklerin % 90'ından çoğunun bileşimindeki karbon % 1 C düzeyinin altındadır. eliğın karbon oranı % 0,8' den az ise bunlar “tektoidaltı elikleri”, daha yüksek ise “tektoidst elikleri” olarak anılırlar.

3.2 tektoidaltı eliklerde Oluşan İçyapılar

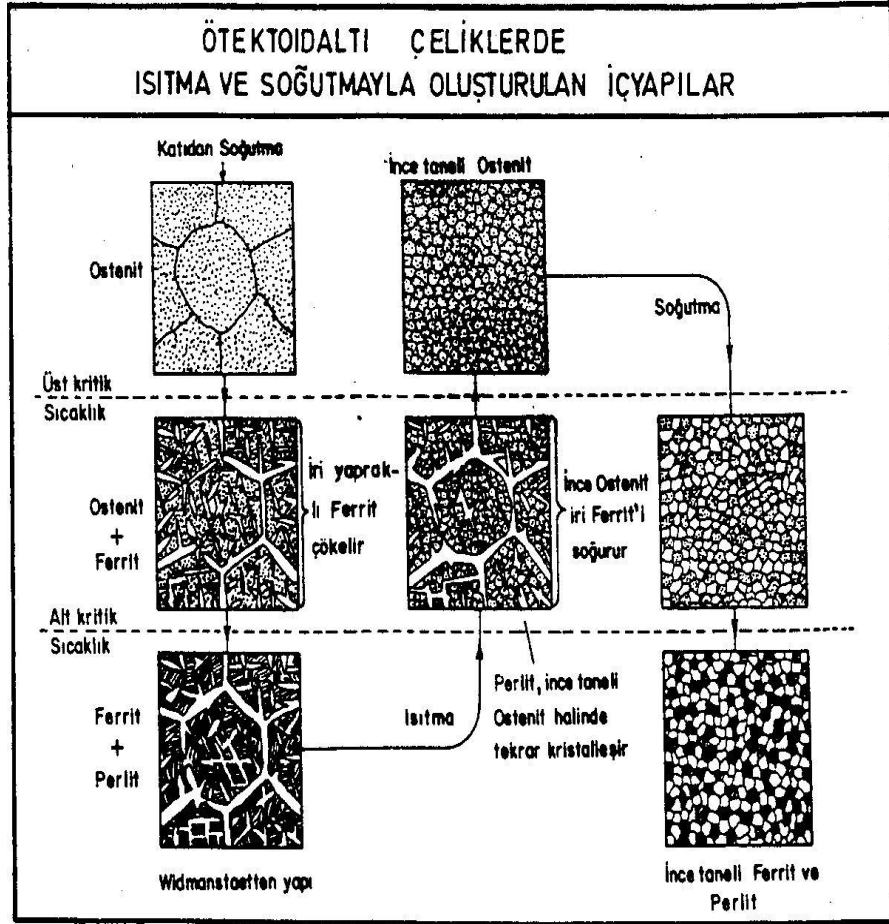
Östenit (γ) bölgesi içinde kalındığı sürece çeliğın içyapısı tümüyle (γ) tanelerinden oluşur. Sıcaklık düşüp ($\alpha + \gamma$) ikili faz bölgesine girildiğinde ostenit tane sınırlarında ferrit oluşmaya başlar. Bu ferrit 721°C'deki ötektoid tepkimeden önce oluştuğu için ötektoid öncesi ferrit diye tanımlanır. ($\alpha + \gamma$) ikili faz bölgesinde sıcaklık düştükçe daha çok ferrit oluşur. Ferrit en çok % 0,02 C zndrebildiğinden ostenit tanelerinin karbon oranı gittikçe artar. eliğın ortalama karbon oranı değişmeyeceğinden ötektoid sıcaklığına erişilinceye dek tektoidncesi ferrit artar, ostenit ise azalır. Ötektoid sıcaklığına (721°C) erişildiğinde, ostenitin karbonu % 0,8 C düzeyine çıkmış olur ve bu ostenit, ötektoid tepkimesi sonucu perlite dönüşür. Ötektoid sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bu dönüşümden başka faz dönüşümü olmaz [2].

Tüm ötektoidal çeliklerde temel faz dönüşümleri ve temel yapı görüntüleri aynı biçimde gelişir. Farklılık, soğuma hızına bağlı olarak ötektoid öncesi ferrit tanelerinin biçim ve büyüklüğü ile perlit tanelerinin büyüklüğü ve ayrıca, çeliğin % C değerine bağlı olarak, her ikisinin içyapı içindeki oranlarıdır.

Hızlı soğutulmuş bir ötektoidal çeliğin yapısında ferrit Widmanstätten tane görünümü (file örgüsü şeklinde yapı) taşır. (Şekil 3.6). Oluşan böyle bir içyapı, yeniden ostenit bölgeye ısıtılacak olursa benzer dönüşümler bu kez tersine gerçekleşir. Perlit, ötektoid sıcaklığında ostenite dönüşür. Sıcaklık yükseldikçe ötektoid öncesi ferrit ostenit içinde çözünür ve A_3 sıcaklığı üzerine çıkılınca da tüm yapı ostenite dönüşmüş olur. Bu ostenit yapı, normalizasyon işleminde olduğu gibi, hızlıca soğutulur ise bu kez ince taneli bir içyapı oluşur [2].



Şekil 3.6: Widmanstätten yapıları



Şekil 3.7: Ötektoidal çeliklerde oluşturulan içyapılar

Bu iç yapı değişimleri, çelik her ısıtılıp soğutuldukça ortaya çıkar. Çelik içyapısı, istenilen özelliklere bağlı olarak, bu ısıl işlem çevrimleri ile oluşturulur.

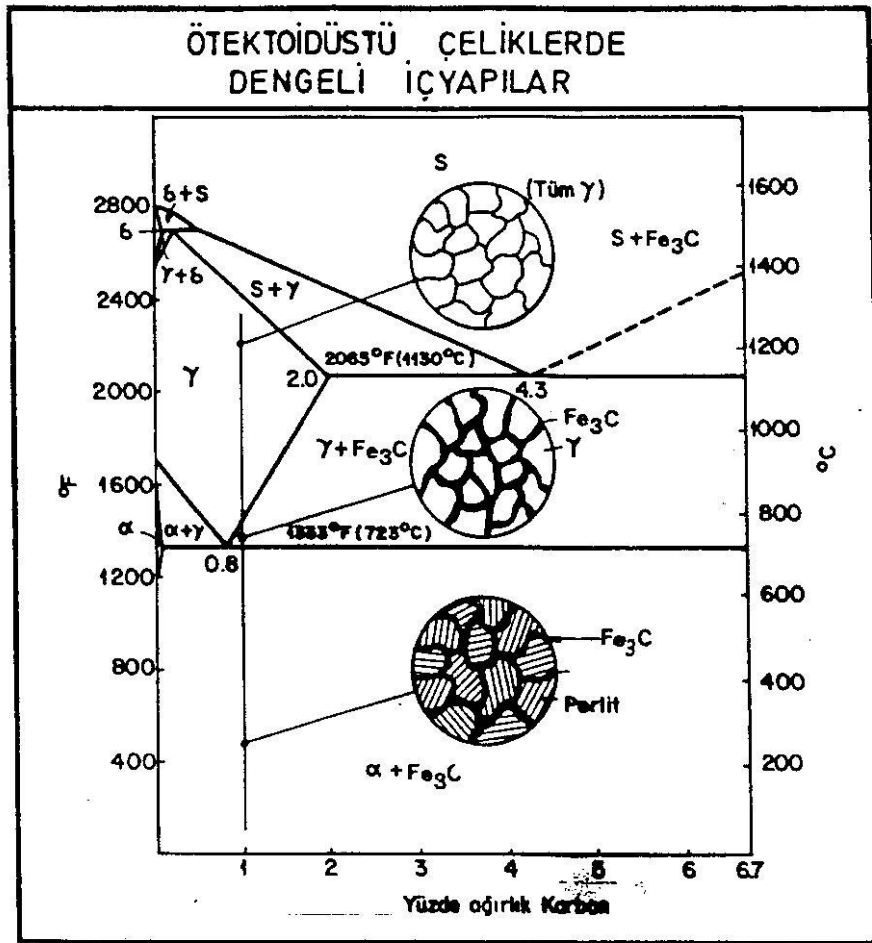
3.3 Ötektoid Çelikte Oluşan İçyapı

Adından da anlaşılacağı gibi ötektoid çelik tek bir tür çelikdir. Bileşiminde % 0,8 C bulunan bu çelik, ötektoidal çeliklerde olduğu gibi, iki aşamalı faz dönüşümlerinden geçmez. % 100 perlitli bir içyapı doğar. Ostenit taneler içinde oluşan perlit tanelerinin sayısı l^3 den çok olabilir. Bu tanelerin büyüklükleri soğuma hızı arttıkça küçülür.

% 100 perlitli bir yapı ısıtılacak olursa, bu kez ötektoid sıcaklığında tersine bir dönüşüm gelişir ve % 100 ostenitli bir içyapı ortaya çıkar [2].

3.4 Ötektoidüstü Çeliklerde Oluşan İçyapılar

Yüksek karbonlu çeliklerde peritektik dönüşüm olmaz. Çeliğin eriyiği doğrudan ostenit katı fazına dönüşür. % 100 ostenitli bir içyapı, ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) iki fazlı bölgenin sınırı olan A_{cm} çizgisinin kesildiği noktanın eşdeğerindeki sıcaklığa dek dönüşüme uğramaz. Bu sıcaklığa erişildikten sonra, karbonun ostenit içindeki çözünürlüğü düşeceğinden, doymuşluk değerinin üzerindeki karbon ostenitten dışarı atılır. İşte bu dışarı atılan karbon, ostenit tane sınırlarında sementit oluşturur ve ince bir zar gibi tüm ostenit tane sınırlarında çökeler (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Ötektoidüstü çeliklerde dengeli içyapılar

Görüldüğü gibi çeliklerin içyapıları, bileşimlerine bağımlı olarak değişik ısıtma ve soğutma işlemleriyle, belirli içerikler kazanırlar [2]. Ötektoidaltı çeliklerin (% C < 0,8) yavaş soğutulmuş ve dengeli olmuş içyapıları oda sıcaklıklarında

daima (ferrit+perlit) yapıları içerirken, benzer hacimde ötektoidüstü çeliklerin içyapıları da aynı denge koşullarında daima (sementit+perlit) içerirler.

Çeliğin içyapısındaki ferrit oranı arttıkça çeliğin tokluk ve sünekliği artar fakat akma ve çekme mukavemetleri düşer. Buna karşın, çeliklerin perlit içeriği arttıkça akma ve çekme dayanımları artar, buna karşın tokluk ve süneklikleri düşer [2].

3.5 Dönüşüm (Kritik) Sıcaklıkları

Çeliklerin içyapılarındaki çeşitli fazların ısıtma ya da soğuma sırasında geçirdikleri dönüşümlerin sıcaklıkları, Fe-C denge çizelgesinde, faz bölgelerini birbirinden ayıran çizgileri oluştururlar. Örneğin % 0,5 C içeren bir çelik çok yavaş olarak oda sıcaklıklarından ısıtıldığında ferritin bir bölümü ve sementit'inde tümü 721°C sıcaklıkta ostenite dönüşür, 860°C sıcaklıkta ise ferrit'in tümü ostenite dönüşür [9].

Dönüşüm sıcaklıkları, dönüşüm (kritik) sıcaklıklar olarak bilinir ve genellikle dönüşümler sonucu doğan hacimsel gelişmeler ölçülerek saptanır. Çelik ısıtıldığında (ferrit + sementit) ostenite dönüştüğünde bir hacim daralması olur, ostenit, (ferrit + sementit)'e dönüştüğünde ise bir hacim genişlemesi olur.

Dönüşme ya da kritik sıcaklıklar genellikle, duraksama anlamına gelen Fransızca "ARRET" sözcüğünün A harfi ile gösterilir.

3 önemli dönüşüm sıcaklığı vardır: A_1 ötektoid sıcaklığına verilen simgedir. A_3 ise ($\alpha+\gamma$) bölgesi ile (γ) bölgelerini birbirinden ayırır. A_{cm} ise ($Fe_3C+\gamma$) bölgesini, (γ) bölgesinden ayırır. Bu sıcaklıklar ancak denge koşulları var olduğunda geçerlidir. Yavaş ısıtmalar ya da soğutmalar dışında denge çizgisinden okunacak değerler geçersizdir. Bu nedenle bu sıcaklıklar bazen İngilizcede denge anlamına gelen "equilibrium" sözcüğünün "e" harfini de içerecek biçimde gösterilir: Ae_1 , Ae_3 , Ae_{cm} gibi.

Gerek ($\alpha+Fe_3C$) fazlarının ostenite, gerekse ostenitin bu fazlara dönüşümü atom yayınmasıyla olduğundan, dönüşüm sıcaklıkları kimyasal bileşim ve ısıtma ya da soğutma hızlarına bağlıdır. Hızlı ısıtma, yayınma için daha az zaman

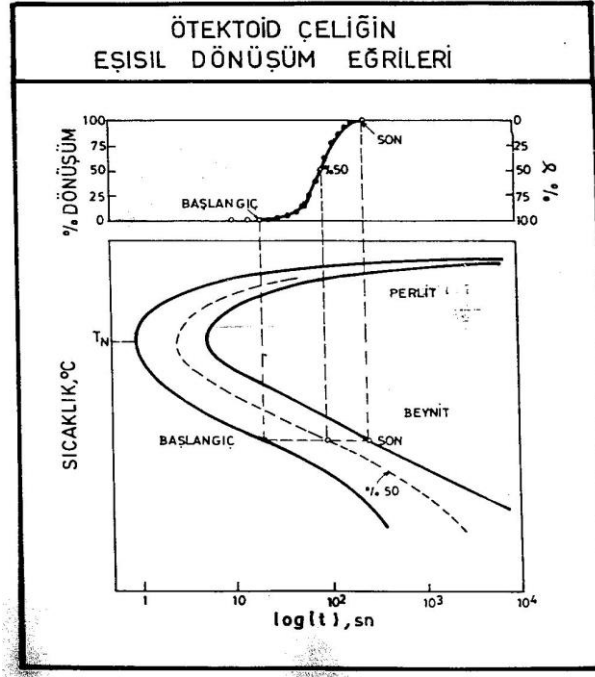
biraktığından dönüşüm sıcaklıklarını yükseltirler. Benzer biçimde hızlı soğuma da bu sıcaklıkları düşürür. Bu iki etkiyi birbirinden ayırdedebilmek için A_c (Arret chauffant) ısıtma sırasındaki dönüşüm sıcaklıkları, A_r (Arret refroidissant) soğutma sırasındakileri belirtmek amacıyla kullanılır. Bu nedenle A_{c1} , A_{c3} , A_{cm} ile A_{r1} , A_{r3} , A_{cm} simgeleri kullanılır. A_{c3} , A_{r3} ile A_{cm} , A_{cm} “üst dönüşüm sıcaklıkları”, A_{c1} , A_{r1} ise “alt dönüşüm sıcaklıkları” olarak da bilinir.

Osteniti dengeli kılan elementler “ostenit dengeleyiciler” ya da ostenit yapıcılar diye anılır. Benzer biçimde “ferrit dengeleyiciler” ve “karbür oluşturucular” dan da söz edilir. Çeliklerde ostenit dengeleyici elementler ise A_{c3} ve A_{c1} sıcaklıklarını düşürürler, ferrit dengeleyici ve karbür oluşturucu elementler ise A_{c3} ve A_{c1} sıcaklıklarını yükseltirler. Mn ve Ni en önemli ostenit dengeleyici elementlerdir.

3.6 SSD (Sıcaklık-Süre-Dönüşüm) Çizgileri

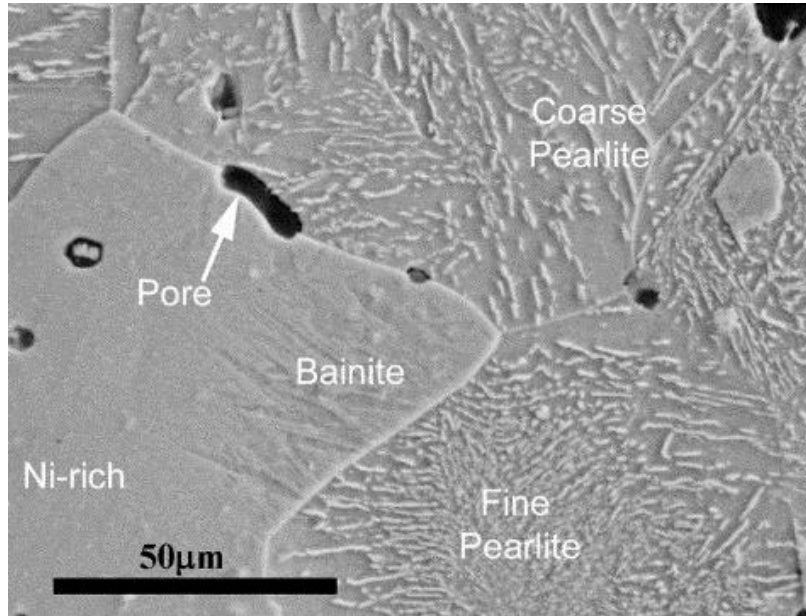
Eş ısı dönüşüm çizgileri ostenitin A_{e1} altındaki sıcaklıklarda değişmez dönüşüm davranışlarını özetleyen eğriler bütünüdür. Ostenit, A_{e1} sıcaklığı altındaki dönüşümünü atom yayınması ile gerçekleştirdiğinden, bu dönüşümlerin değişkenleri kimyasal bileşim, sıcaklık ve süredir. Belirli bileşimdeki bir çelik için değişkenler sıcaklık ve süre olduğundan eş ısıl dönüşüm çizgileri bazen (sıcaklık, süre, dönüşüm) SSD- çizgileri diye de anılırlar.

SSD çizgileri değişmez sıcaklıklarda ostenitin ($\alpha + Fe_3C$) faz karışımına dönüşüm kinetiğini yansıtır. Belirli bir değişmez sıcaklıktaki $\gamma \rightarrow (\alpha + Fe_3C)$ dönüşümü, süreye bağımlı olarak izlenebilir. Örneğin bir ötektoid çeliğinin belirli bir sıcaklıktaki $\gamma \rightarrow (\alpha + Fe_3C)$ dönüşümü ve buna bağımlı olarak ilgili SSD çizgisindeki, dönüşüm oranlarının süreye göre konumları, bir sıcaklık-süre çizgisinde belirlenebilir. Bu işlem A_{e1} altındaki tüm sıcaklıklar için yinelenirse ortaya Şekil 3.9’ da görülen türden bir SSD çizgisi çıkar. SSD eğrileri biçimlerinden ötürü (C) ya da (S) eğrileri diye de anılırlar [2].



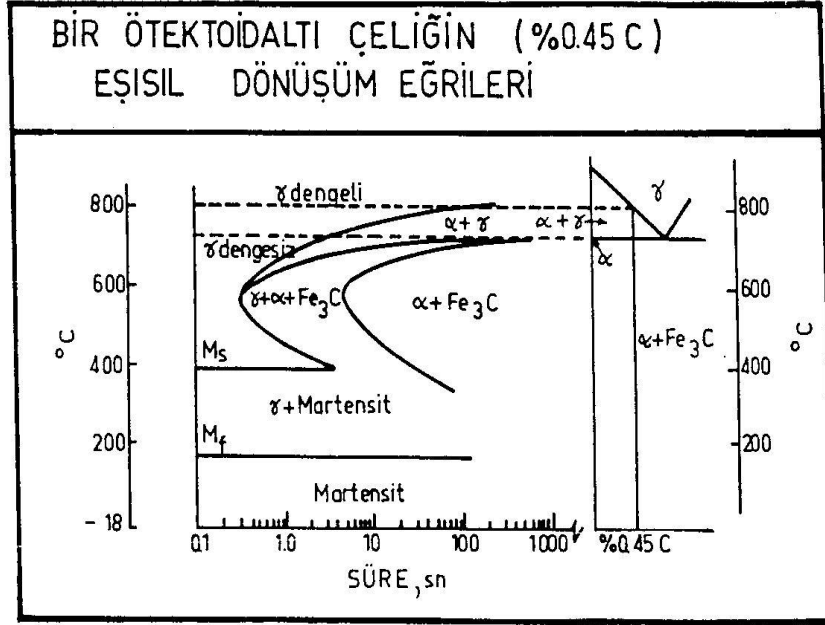
Şekil 3.9: Eş ısl dönüşüm eğrileri

Eş ısl dönüşüm eğrilerinin burun sıcaklığı (T_N) olarak anılan bir uç nokta sıcaklıkları vardır. Her çelik için T_N sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda oluşan dönüşümler perlit doğurur. Altındaki sıcaklıklarda ise beynit diye anılan özel bir ($\alpha + Fe_3C$) karışımı bir içyapı doğar. Ostenit Ae_1 sıcaklığına ne denli yakın bir sıcaklıkta dönüşürse perlit o denli kaba taneli olur, sıcaklık düşükçe daha ince taneli perlit ve T_N sıcaklığı altına inildikçe de beynit oluşur. (Şekil 3.10).

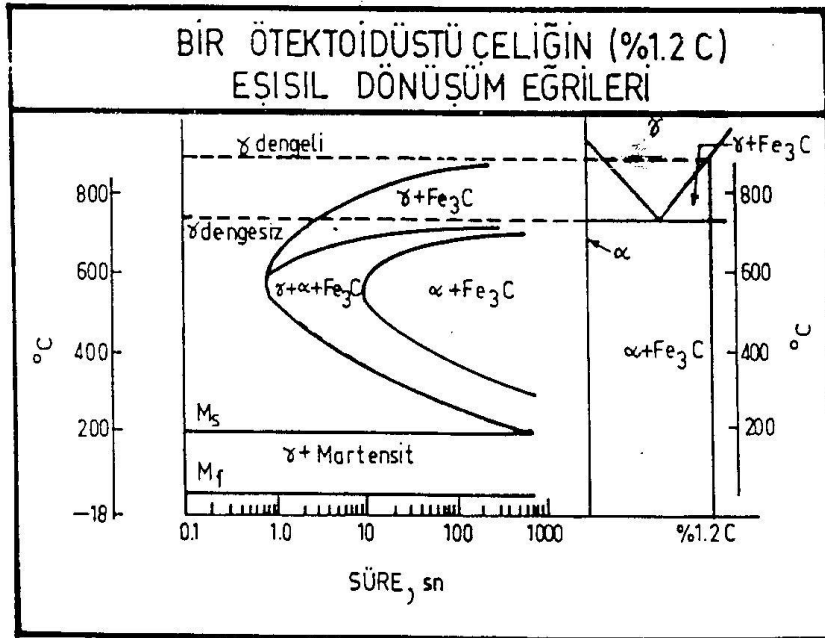


Şekil 3.10: Kaba ve ince taneli perlit ile beynit yapıları

Çelik iç yapısı kaba perlitten ince perlite ve beynite doğru kaydıçça, çeliğın dayanımı ve sertliğı de artar. Buna karşın süneklik ve tokluk özellikleri de azalır [15].



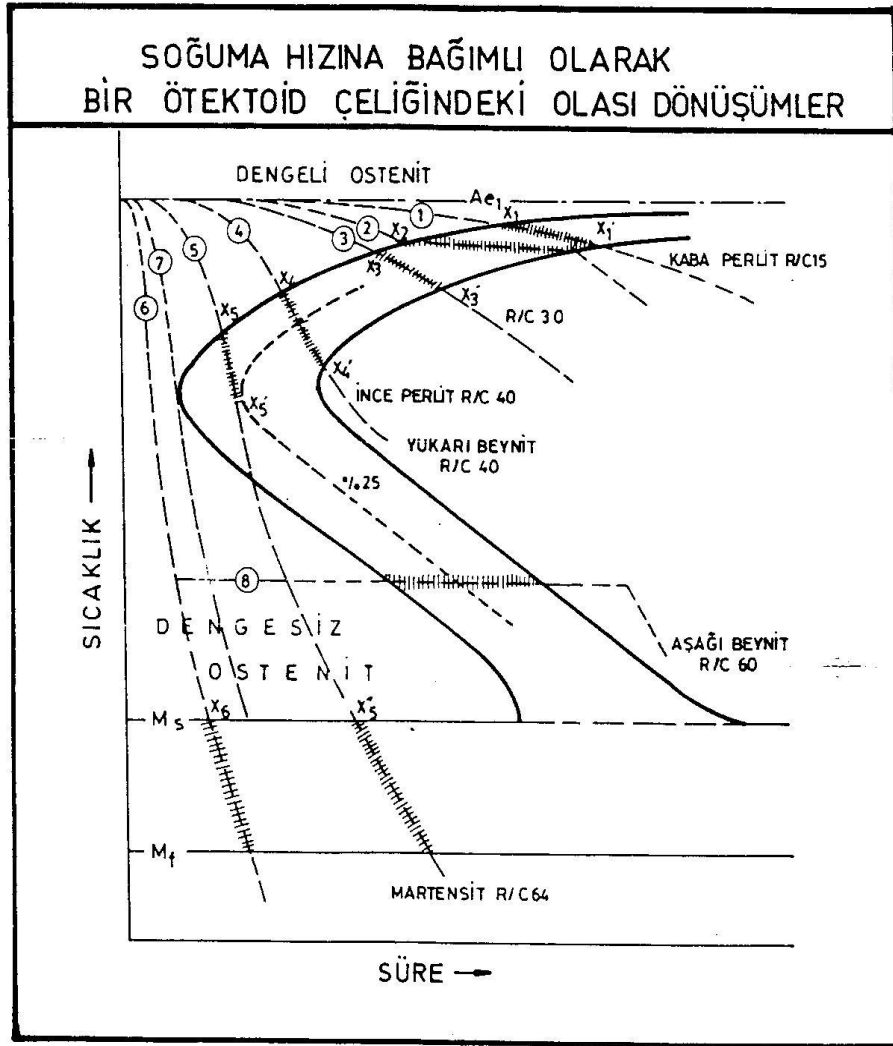
Şekil 3.11: Ötektoidaltı çeliğın eş ısıı eğrileri



Şekil 3.12: Ötektoidüstü çeliğın eş ısıı eğrileri

3.7 Soğuma Eğrileri ve SSD Çizgileri

Soğuma eğrileri, ostenitleme sonrası sıcaklık değişimini saptamak amacıyla bir ısı çift yardımıyla çeliğin sıcaklığını süreye bağımlı ölçerek çıkarılır. Gerek SSD eğrilerinin gerekse soğuma eğrilerinin eksenleri eşdeğer olduğundan soğuma eğrileri SSD çizgisi üzerine çakıştırılabilir. Şekil 3.13 'de özetlenen oluşumları bu yöntemle inceleyebiliriz:



Şekil 3.13: Soğuma hızlarına bağımlı faz dönüşümleri

(1) numaralı eğri ostenit dönüşümünün yavaş bir soğumayla $X_1 - X_1'$ arasında geliştiğini ve oluşan içyapımın iri taneli perlit içerdiğini göstermektedir. Böyle yavaş soğutulmuş tüm çeliklerin içyapılarında oluşan perlit kaba perlittir. Bu içyapıya sahip çeliklerin dayanım ve sertlikleri çok düşük, tokluk ve süneklikleri yüksektir [2].

(2) numaralı soğuma eğrisi tam anlamıyla bir eş ısı dönüşümü simgelemektedir. Bu tür ısı işlemle gösterilen sıcaklıklarda gerçekleştirilecek bir dönüşüm (1) numaralı eğrinin oluşturduğuna benzer bir içyapı ve bunun sonucu da onunkine benzer mekanik özellikler oluştururlar.

(3) numaralı eğri göreceli olarak daha hızlı bir soğuma simgelemektedir. Bu eğrinin dönüşüm başlama eğrisini kestiği X_3 noktasında iri taneli kaba perlit oluşacak, fakat X_3 noktasına erişildikçe sıcaklık düşeceğinden daha ince taneli perlit oluşacaktır. Bunun sonucu çeliğin sertliği ve dayanımı öncekilere oranla daha yüksek, fakat tokluk ve sünekliği daha düşük olacaktır.

(4) numaralı soğuma eğrisi ise tümüyle perlit içeren bir içyapı oluşturabilecek, en hızlı soğumayı simgelemektedir. Böyle bir soğuma, ince taneli perlitleri içeren bir içyapı doğuracaktır.

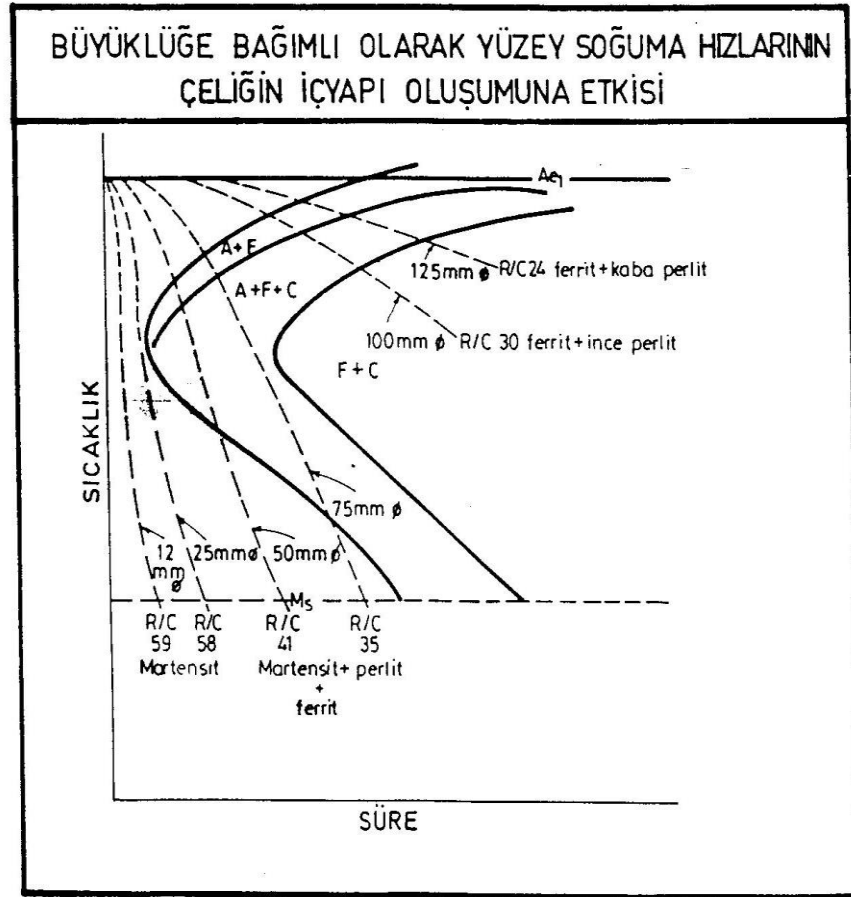
(5) numaralı eğri oldukça hızlı bir soğumayı simgelemektedir. X_5 noktasında ostenit ince perlite dönüşmeye başlayacak ve bu dönüşüm X_5 noktasında belirli oranda, örneğin % 25, ostenit→perlit dönüşümüne denk gelecektir. Soğuma eğrisi bundan sonra azalan oranlarda dönüşüm eğrilerini kestiğinden ve bu düşük sıcaklıklarda da perlit→ostenit, dönüşümü olamayacağından, X_5 noktasından sonra çeliğin içyapısında dönüşüm olmaz ve içyapı % 25 ince perlit + % 75 ostenit içerir. X_5 noktasına gelindiğinde ise ostenit, martensit adıyla bilinen çok sert yeni bir faza dönüşür.

(7) numaralı eğri ostenit dönüşümü başlama eğrisine teğet geçmekte ve bu nedenle de perlite dönüşmemektedir. Ancak, böyle hızlı bir soğuma martenzit oluşumunun başladığı M_s sıcaklığına gelindiğinde ostenitin tümüyle martenzite dönüşmesine yol açabilir. İşte ostenitin % 100 martenzite dönüşümünü sağlayabilecek bu en düşük hızlı soğumanın hızına, belirleyici bir ad verilir ve “dönüşüm soğuma hızı” ya da “kritik soğuma hızı” denir. Dönüşüm soğuma hızını kısaca “DSH” simgesiyle belirtebiliriz. DSH’den daha yüksek soğuma hızları, (6) numaralı eğride görüldüğü gibi, osteniti tümünden martenzite dönüştürebilir.

(8) numaralı eğri hızlı bir soğutmanın ancak M_s üzerindeki bir sıcaklığa dek yapıldıktan sonra eş ısı dönüşümüyle nasıl beyrit oluşturabileceğini göstermektedir [2].

Böylece, oldukça sert ve yüksek dayanımlı içyapıları oluşturacak ısıtma işlemleri uygulamaları doğabilir.

Büyükölçü etmeni göz önüne alındığında, örnek olarak; değişik çaplardaki çubukların soğumalarında Şekil 3.14'de de görülebileceği gibi, değişik içyapılar oluşturulabileceğinden farklı özellikler geliştirme olanağı doğar.



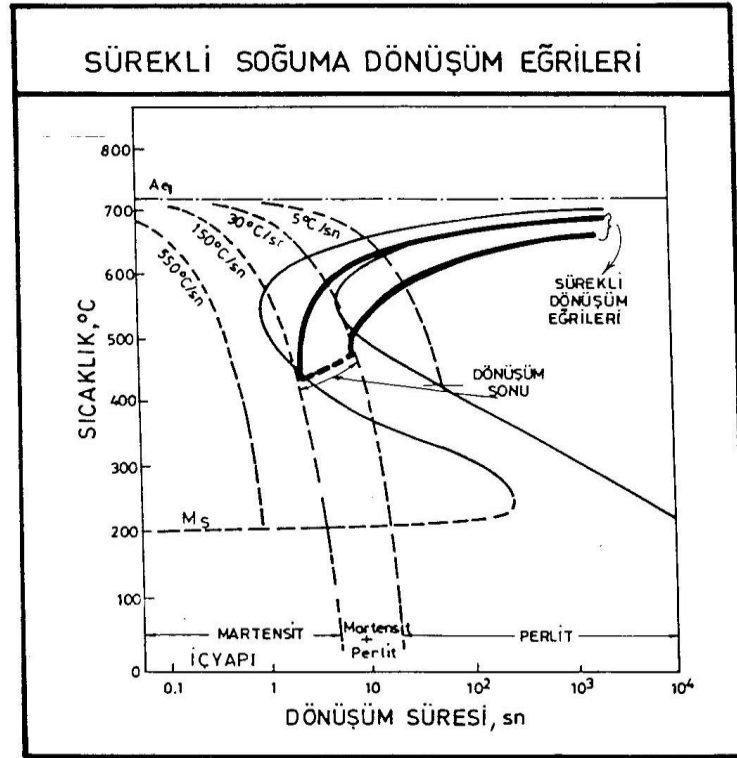
Şekil 3.14: Büyükölçü ve soğuma hızlarının içyapıya etkisi

3.8 Sürekli Soğuma Çizgileri

Mühendislik uygulamalarının birçoğundaki ısıtma işlemleri değişmez bir sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulaması yerine sürekli soğuma içerirler. Kuramsal olarak soğuma eğrileri eşsıcak dönüşüm eğrileri üzerine çakıştırılıp kesin yorumlar yapılmaz. Bu nedenle sürekli soğuma sırasındaki faz dönüşümlerinin oluşumları hakkında bilgiler gereklidir [16]. İşte bu tür bilgileri içeren çizgilere “sürekli dönüşüm

çizgileri” ya da “sürekli soğuma çizgileri” adı verilir. Sürekli soğuma, genellikle ostenit dönüşümünü daha düşük sıcaklıklara ve uzun sürelerle iter. (Şekil 3.15).

Sürekli dönüşüm eğrileri kullanılmadan doğrudan eşsıl dönüşüm eğrilerinden sürekli dönüşüm için bilgi edinmek, tümüyle yanlış olmasada tam doğru da sayılmaz. Örneğin; Şekil 3.15’de 150°C/sn hızla soğutma, sürekli soğutma sırasında hiçbir ostenit→perlit dönüşümü oluşturmamasına karşın, eşsıl dönüşüm eğrilerinden çıkarılacak sürekli soğutma dönüşümlerine ilişkin bir bilgi böyle bir ostenit→perlit dönüşümünün kısmen olacağını gösterecek ve yanlışlıklara neden olacaktır.



Şekil 3.15: Sürekli soğuma dönüşüm eğrileri

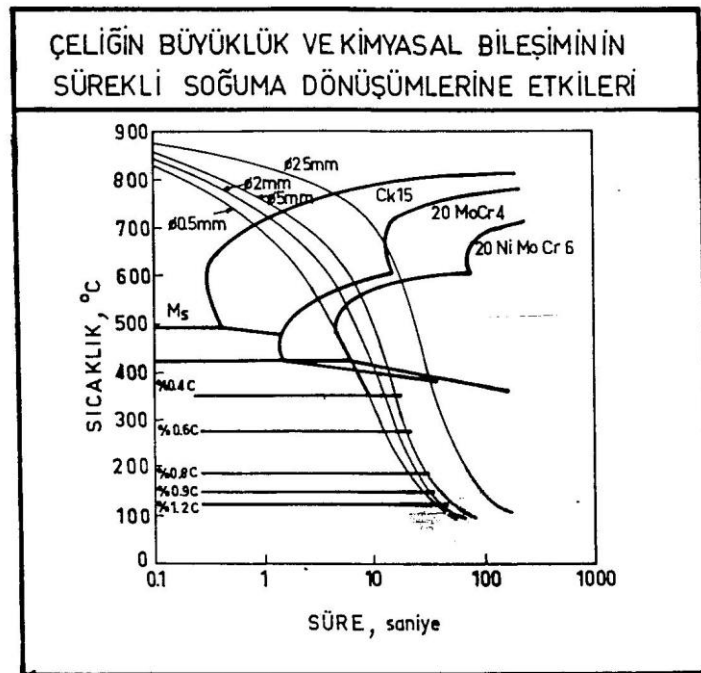
3.9 Alaşım Elementlerinin SSD Eğrilerine Etkileri

Alaşım elementleri genelde karbon atomlarının yayınma hızlarını kestiğinden ostenitin ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) karışımı, içyapılara dönüşümü daha yavaş olur. Bunun sonucu olarak SSD eğrileri de bu yavaşlamayı yansıtacak biçimde daha uzun sürelerle, sıcaklık ekseninden uzağa kayarlar [2].

SSD çizelgelerinde dönüşüm eğrilerinin konumunu değiştirecek iki ana etmen vardır. Bunlar ostenitin kimyasal bileşimi ve tane büyüklüğüdür. Bir genelleme yapılacak olursa, çeliğin bileşiminde karbon ve alaşım elementleri yüzdesi ile ostenit tane büyüklüğü arttıkça $\gamma \rightarrow$ perlit dönüşümünün yavaşladığı söylenebilir. Bu bakımdan alaşımlı çeliklerin SSD eğrileri alaşımsız olanlarına göre, yüksek karbonlu çeliklerde, düşük karbonlularına göre sıcaklık ekseninden uzağa kaymış konumdadırlar. Bu durumun doğrudan bir sonucu ise alaşımlı ve yüksek karbonlu çeliklerde dönüşüm soğuma hızları diğerlerine oranla daha düşüktür. Açıkça, bu çeliklerde benzer içyapıları oluşturmak için daha yavaş soğumalar yeterlidir.

Şüphesiz tüm alaşım elementlerinin etkileri eşdeğer düzeyde değildir. % C ve % alaşım elementi arttıkça ostenitin, ($\alpha + Fe_3C$) karışımına dönüşümü gittikçe artan oranlarda yavaşlar. Şekil 3.16'da artan oranlarda alaşım elementlerinin SSD eğrilerini nasıl sıcaklık ekseninden uzağa kaydırıldığını ve buna ilişkin olarak da değişik büyüklüklerdeki çubukların soğumaları sonucu nasıl değişik içyapılar oluşacağı görülmektedir.

Benzer etkiler ostenit tane büyüklüğü arttıkça da gözlemlenir. Daha yüksek sıcaklıklarda ostenitlenen bir çelik, daha düşük sıcaklıkta ostenitlenene oranla daha geç dönüşüme uğrar.



Şekil 3.16: Alaşım elementlerinin SSD eğrilerine etkisi

4. ÇELİK ISIL İŞLEMLERİ VE SERTLEŞTİRME

Çeliğin içyapısında bir eş dağılımlılık, süneklik ve işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek, iç gerilimlerini gidermek amacıyla malzemeye belli bir sıcaklık-zaman programı kapsamında uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir.

İstenilen içyapıları, dolayısıyla da gerekli özellikleri oluşturabilmek, çeliğin içyapısındaki ferrit ile sementitin değişik biçim ve dağılımları sonucu elde edilir. Bu içyapı değişikliklerinin tümü, Fe-C denge diyagramı ile ilgili SSD soğuma dönüşüm çizelgeleri kullanılarak tanımlanabilir. Çeliğin içyapısında değişiklikler meydana getiren ısıtma işlem süreçlerinin ilk ve en önemli aşaması “ostenitleme” işlemidir.

4.1 Ostenitleme

Çeliklerin özelliklerinin, ısıtma işlemleri ile değiştirilip geliştirilebilmesi, demirin oda sıcaklığı ile yüksek sıcaklıklardaki kristal yapısının farklılığından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bütün ısıtma işlemlerinin ilk aşaması çelikleri ostenit bölgelerinde ısıtmaktır. Uygulanan bu ısıtma işlemine “ostenitleme” adı verilir.

Çeliklerin içyapıları oda sıcaklıklarında ferrit ve sementit fazlarından oluşur. Ostenitleme işleminin amacı, oda sıcaklıklarındaki bu içyapıyı tümüyle ostenit içeren bir içyapıya dönüştürmektir. Bu bakımdan çelik, kimyasal bileşimine bağlı olarak ostenit bölgede içyapısı tümüyle ostenite dönüştürülmek üzere ısıtılır. Çeliklerin ostenitleme amacıyla ısıtılmalarında değişik tür fırınlar ve yöntemler kullanılabilir. Isıtma yöntemi ne olursa olsun ostenitleme süreci ile kimyasal bileşim bakımından eşdağılımlılık gösteren ostenit taneleri içeren bir çelik içyapısı oluşturulmak zorundadır. Bunu sağlamak için ($\alpha + Fe_3C$) içeren ilk yapının belli bir ostenitleme sıcaklığında belli bir süre tutulması gerekir.

Ostenitleme işlemi tamamlandığında, istenilen içyapıları oluşturacak gerekli soğutma hızlarına uygun olarak çelik soğutulur. Ostenitleme işlemi ile birlikte gereken soğutma hızını da içeren ısıtma işlemlere “Tavlama” ve “Normalizasyon” adı verilir [2,4,18].

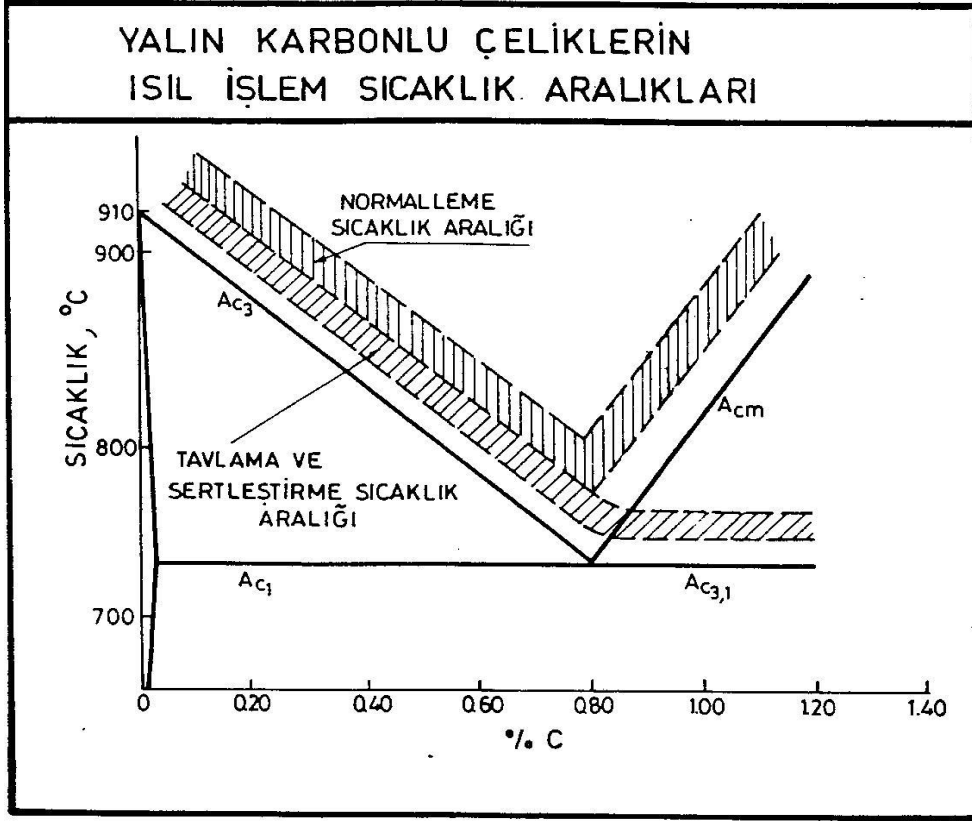
4.2 Tavlama

Tavlama sözcüğü en geniş anlamıyla kullanıldığında ısıtma deyimini yerine kullanılır. Ancak bu sözcük ısıtma işlemi açısından belirgin bir işlemler dizisine verilen addır. Tam tavlama ya da kısaca tavlama, çeliği ostenit bölgesinde ısıttıktan sonra, Bölüm 3, Şekil 3.13’de ki (1) numaralı soğuma eğrisine eşdeğerde, çok yavaş olarak soğutma işlemi için kullanılır. Bu soğutma genellikle, ostenitleme işlemi sonunda kapatılan fırın içinde yapılır. Isıtma işlemi gören çelik parça, oda sıcaklığına dek fırından çıkarılmadan fırınla birlikte soğur.

Tavlama işleminin amacı, genellikle daha yumuşak, sünek ve tok bir içyapı oluşturmaktır. Bunu sağlayabilmek için çeliğin çok yavaş soğutulması gerektiğinden tavlama, denge koşullarına en yakın soğumayı içermekte ve bu nedenden ötürü de Fe-C çizelgesinin uygulaması olanaklı kılınmaktadır.

Şekil 4.1’ de değişik ısıtma işlemleri için kullanılan ostenitleme sıcaklık aralıkları görülmektedir. Tam tavlama için gerekli ostenitleme sıcaklıkları, görüldüğü gibi, çeliğin karbon içeriğine bağımlı olarak değişir. Bu sıcaklıklar ötektoidaltı çelikler için A_{e3} ve ötektoidüstü çelikler için ise A_{e1} sıcaklıkları üstündedir. Alaşım elementleri, dönüşüm sıcaklıkları belirli bir oranda etkilese de, düşük ve orta karbonlu çelikleri ostenit bölgesinde, yüksek ($> 0,8\% C$) karbonlu çelikleri de ($\gamma + Fe_3C$) ikili bölgede ısıtma kuralı değişmez.

Ötektoidüstü çelikleri ostenit yerine ($\gamma + Fe_3C$) bölgesine ısıtmanın nedeni, içyapıdaki ötektoid öncesi sementiti küreleştirmektir. Bilindiği gibi ötektoidüstü çelikler ostenit bölgeden yavaşça soğutulduklarında ötektoid öncesi Fe_3C tane sınırlarında çökerek bir sementit ağı oluşturur ve çeliği gevrekleştirir. Çalışma gerilimleri altında böyle bir çelik ostenit tane sınırlarındaki bu sementit ağını izleyerek kırılır. İşte, yüksek karbonlu çeliklerin tavlama amacı bu sementit ağını bozarak küresel sementit parçacıkları oluşturmak ve çeliğin olağan gevrekliğini tokluğa dönüştürmektir [2,12].



Şekil 4.1: Isıl işlem sıcaklık aralıkları

Tam tavlamanın önemli yanı, yalnızca ostenitleme sıcaklık aralığı değildir. Yavaş olması da gerekli ve zorunludur. Fırında soğutma, ötektoidaltı çeliklerde osteniti öncelikle ötektoid öncesi ferrite ve daha sonra da perlitte dönüştürürken, ferritin eş eksenli ve iri taneli, perlitin ise kaba taneli oluşmasını sağlar. Bu oluşumlar sertliği ve dayanımı düşürürken, sünekliliğin artmasını sağlamış olur.

4.3 Normalizasyon

Bu ısıl işlem de, çeliklerde ($\alpha + Fe_3C$) içeren bir içyapı oluşturur. Bu bakımdan tavlama işlemine benzer. Ancak uygulanan ostenitleme işlemi sıcaklıkları, tavlamadakine göre ötektoidaltı çelikler için daha yüksek, ötektoidüstü çelikler için ise A_{cm} sıcaklığı üstündedir. Ayrıca ostenitleme işlemi sonrası soğutma işlemi havada yapılır ve tavlamaya göre daha hızlıdır [2,12].

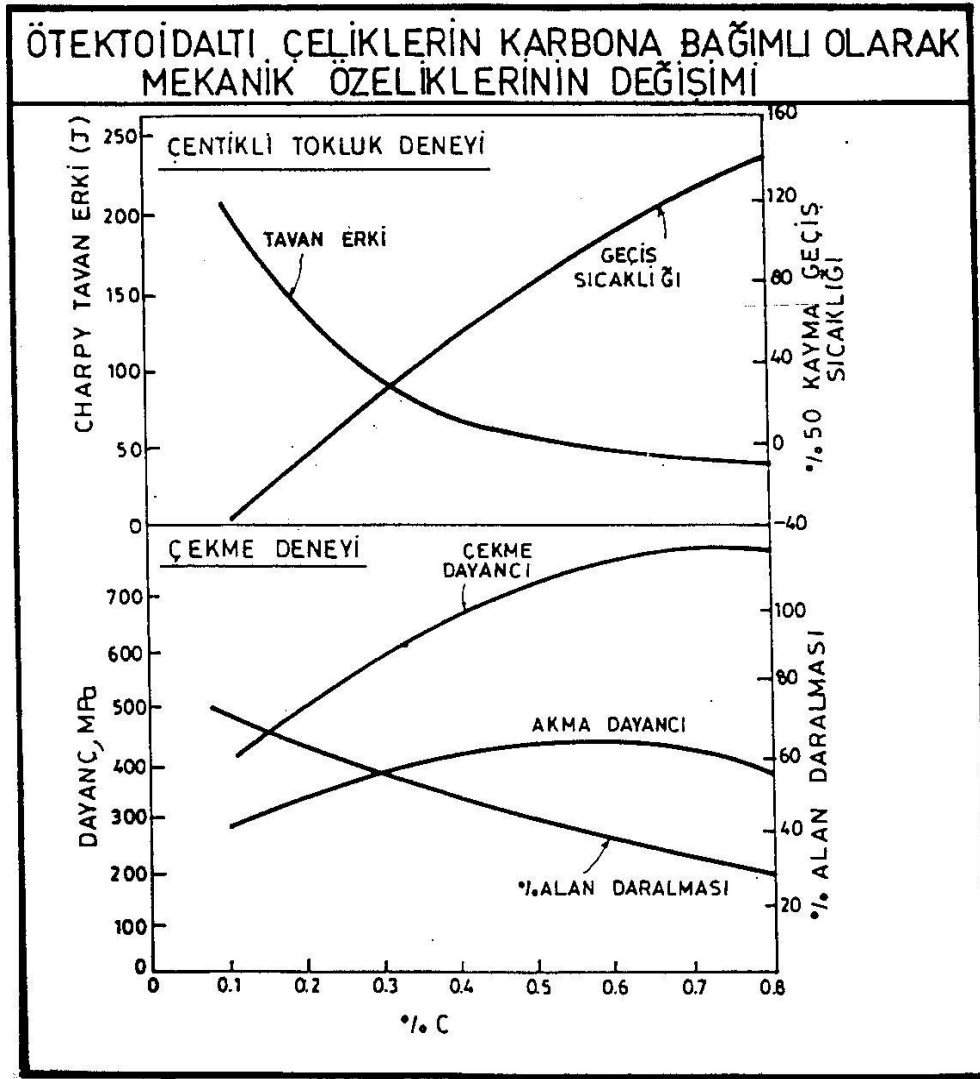
Normalizasyon sıcaklıklarının tavlama sıcaklıklarına oranla daha yüksek olması osteniti daha eş dağılımlı bir yapıya kavuşturur. Normalizasyon sonunda, daha küçük taneli bir içyapı oluşur. Özellikle parça dökümlerde ve sıcak

haddelenmiş çubuklarda oluşan kaba taneli içyapıları, ince taneli içyapılara dönüştürmek amacıyla normalizasyon işlemi uygulanır. Ancak, bunun ostenitleme işlemi sırasında, kullanılan göreceli sıcaklıklardan ötürü, aşırı ostenit tane büyümesi olabilir. Bu oluşum çeliğin tokluk özelliğini düşüreceğinden uygulanan sıcaklık ve süreler özen gösterilmesi gerekir.

Normalizasyon uygulanmış çelikler ince taneli içyapılarından ötürü eşdağılımlı (homojen) mekanik özellikler gösterirler ve dayanımları daha yüksektir. Normalizasyon ötektoidaltı çelikler belirli uygulamalar için, ya bu durumda kullanılırlar ya da su verilip sertleştirilmek amacıyla yeniden ostenitlenirler [19].

Ötektoidüstü çelikler ise, A_{cm} sıcaklıkları üzerinde ostenitlenirler. Burada amaç ostenit tanelerini küçültmek olduğu gibi, aynı zamanda tane sınırlarındaki sementit ağını kırmak ve karbürleri ostenit içinde çözündürmektir. Normalizasyon uygulanmış ötektoidüstü çelikler hem su verme sertleştirilmesi için daha uygun bir içyapı sergilerler ve hem de küreleştirme ısıl işleminde küreleşme olgusunun daha kolaylıkla gerçekleşmesini sağlarlar. Yüksek karbonlu bu çeliklerin normalizasyon işlemleri bazen ostenit tane sınırlarında sementit ağının yeniden oluşmasına yol açabilir. Ancak bu tür yapılar yeniden ostenitlendiklerinde bu karbür ağı küresel karbür parçacıklarına dönüşür ve çeliğin tokluğunu iyileştirirler [2,4,12].

Normalizasyon uygulanacak çelikler havada soğutulurken, hızlı soğumanın etkisiyle $\gamma \rightarrow \alpha$ ve $\gamma \rightarrow$ perlit dönüşümleri daha dar sıcaklık aralıklarında oluşmak zorunda kalırlar. Bu nedenle de gerek ötektoid öncesi ferrit taneleri ve gerekse perlitin sementit katmanlar arası uzaklığı küçülür. Ayrıca, hızlı soğuma denge koşullarından uzaklaşma doğurduğundan $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümü için gerekli süre sağlanamaz. Bunun sonucu ise belli bir çelikte tavllanmış içyapıya oranla daha az ötektoid öncesi ferrit bulunur. Normalizasyon uygulanmış çeliklerin içyapılarının tavllanmışlarınkine oranla daha ince yapılı olması ve daha az ferrit içermesi ve bunun sonucunda da daha yüksek dayanımlı ve sert fakat daha az sünek olmasının açıklaması budur. Ötektoidaltı çeliklerin genel mekanik özelliklerinin karbona bağımlı olarak değişimi Şekil 4.2’de gösterilmektedir [2].



Şekil 4.2: Karbona bağımlı olarak mekanik özelliklerin değişimi

4.4 Küreleştirme

Bir çeliğin en yumuşak, en sünek ve en tok olduğu durum, ferrit bir ana yapı içinde dağılmış küre biçimli karbürler içeren içyapıya sahip olduğu durumdur.

Perlit içindeki katmansal sementit, sert ve gevrek olmasından ötürü, mekanik deformasyona karşı daha dirençlidir [14]. Bu olgu perlitli içyapıların küreleştirilmiş içyapılara göre daha sert ve daha yüksek dayanımlı olmasını sağlar. Küreleştirme uygulanmış düşük ve orta karbonlu çeliklerin yüksek sünekliği bu çeliklerin hem talaşlı işlemlerinde hem de soğuk biçimlendirilmelerinde büyük kolaylıklar sağlar.

Yüksek karbonlularda ise özellikle sertleştirme ısıl işlemi öncesi talaşlı işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi açısından çok önemlidir [20].

Küreleştirilmiş karbürü çelik içyapıları en dengeli içyapılardır. Bunlar, her türlü değişik içyapıya sahip çelikler, küresel karbürlerin oluşması için gerekli karbon yayınmasını sağlayabilecek sıcaklık ve sürede ısıtıldıklarında oluşurlar. Bunun için küreleştirme ısıl işlemi bu tür içyapıları oluşturabilecek birkaç ısıl işlem türünü içerir. Bunlar;

- a. Ae_1 sıcaklığının hemen altındaki bir sıcaklıkta uzunca bir süre ısıtmak
- b. Ae_1 sıcaklığına dek ısıtıp sonra fırında çok yavaş olarak soğutmak
- c. Ae_1 üstünde ve altındaki sıcaklıklarda ardışık olarak ısıtmaktır.

Bu sıcaklıklarda ısıtıldığında çeliğin içyapısındaki sementit tümüyle bozulup küresel bir biçim almaktadır. Özellikle ostenitli bir içyapı yerine, içinde çözünmemiş karbürler içeren ostenit yavaşça soğutulduğunda küresel karbürü içyapı oluşturmaya daha yatkındır. Bu nedenle küreleştirme uygulamasında tam ostenitleştirme hiçbir zaman düşünülmez.

Tam ostenitleme gerektirmeyen bu küreleştirme işleminin dışında ayrıca, yenileme (yeniden kristalleşme) tavlama ya da süreç tavlama diye anılan gerilim giderme tavlamalarından da bahsetmek gerekir [2].

4.4.1 Rekrizalizasyon

Bu ısıl işlem özellikle sac ve tel üretiminde uygulanır. Amacı çeliğin yumuşamasını sağlamaktır ve Ae_1 sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Genellikle soğuk şekillendirme işlemleriyle pekleşmiş olan çeliğin ısıtılarak yeniden kristalleşmesi (yenilenme) sağlanır. Yumuşamaya yol açan, bu yenilenme olgusudur.

Bu ısıl işlem Ae_1 sıcaklığı altında uygulandığından, içyapıda hiç faz dönüşümü söz konusu değildir. Sac üretiminde kullanılan düşük karbonlu çelikler, genellikle eş eksenli tanelerden oluşan ferrit ana yapı ve onun içindeki perliti içerirler. Soğuk biçimlendirme ferriti pekleştirerek sertleştirir. Bu tür bir çeliğin taneleri biçim değiştirmiş ve biçimlendirme yönünde uzamışlardır [16,24].

Rekristalizasyon uygulandığında elde edilen çelik içyapısı ise yeniden eş eksenli ferrit taneleri ile küreleşmiş karbürlerden oluşur. Böyle bir içyapı ise sünektir ve yeniden soğuk biçimlendirmeye hazırdır. Ancak yenilenme tavlama sürecinin denetimi elden kaçarsa tane irileşmesi adı verilen bir olgu ortaya çıkabilir. Bu durumdan kaçınılması gerekir.

4.4.2 Gerilim Giderme Tavlaması

Bu ısıtma işlemi, ağır talaşlı işlemler uygulanmış çelik parçaların iç gerilimlerini gidermek amacıyla, A_{e1} sıcaklığının altında uygulanır. Birçok mekanik ve ısıtma işlemler çelik parçalarda yüksek iç gerilmeler doğururlar. Bu gibi parçalar kullanımda sakıncalıdır. Çünkü gerilimler, çarpılma, çatlama ve hatta kırılmalara bile yol açabilirler.

İç gerilimler yalnızca mekanik işlemler sonucunda doğmazlar. Isıtma işlemler de bunların oluşmasına neden olabilir. Örneğin, büyük kesitli bir çelik parçanın ısıtma işlemi içyapıda gerilimlere yol açabilir. Benzer biçimde kaynaklama işlemlerinde bazı çeliklerde ve bazı parçalarda çatlama varan iç gerilimler oluşabilir. İşte tüm bu tür uygulamalarda gerilim giderme tavlaması gereklidir.

Gerilim giderme tavlamasında, hem ısıtma ve soğutma işlemleri özellikle büyük kaynaklı parçalar için olabildiğince yavaş yapılmalıdır. Buna dikkat edilmediği sürece yeni iç gerilimler doğabilir ve bu ek gerilimler parçayı gerilim giderme sürecinde iken çatlatabilir.

Gerilim giderme tavlama sürecinin amacı içyapının yenilenmesi yoluyla mekanik özelliklerde büyük değişimler oluşturmak değildir. Burada amaç bilimsel olarak toparlanma adıyla anılan bir olgu sonucu içyapı içindeki gerilimleri azaltmak yada gidermektir. Toparlanma gerilim giderme tavlaması sıcaklığına erişir erişmez başlar. Önceleri çok hızlıdır, fakat gittikçe yavaşlar. Yenilenme ise bir kuluçka süresi gerektirdiğinden geç ve zor başlar. Bu nedenle mekanik özellikleri pek etkilemeden içgerilimleri gidermek olanaklıdır. Örneğin 500°C'de 1 saatlik bir ısıtma iç gerilimleri hemen tümüyle giderdiği halde, sertlik hiç etkilenmemektedir. Bu nedenle soğuk biçimlendirmenin oluşturduğu pekleşme yok olmadan iç gerilimler giderilebilmektedir [14,18].

Küreleştirme, yenilenme tavlaması ve gerilim giderme tavlaması gibi tam ostenitleme gerektirmeyen ısı işlemlerin genel uygulama sıcaklık aralıkları şekilde gösterilmiştir.

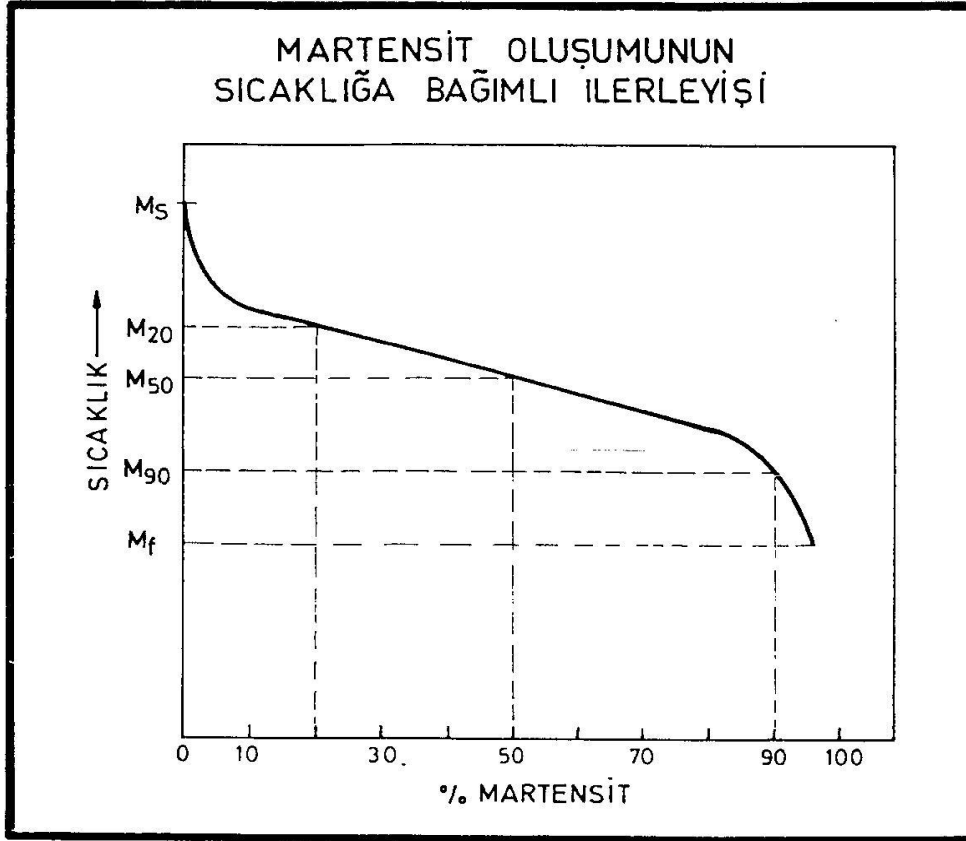
4.5 Su Verme ve Sertleştirme

Çeliklerin ostenitleme sıcaklıklarından hızlı soğutularak sertleştirilme olguları çok eskilere dayanır. Su verme deyimi en genel anlamıyla çelikte soğuma sonunda sertleşme oluşturacak her türlü soğuma için kullanılır. Dolayısı ile su verme ortamı yalnızca su değil, eğer çelikte sertleşme sağlayabiliyorsa, yağ ve hava da olabilir [24].

Anımsanacağı gibi, ostenitleme sonrası soğuma hızına bağımlı olarak çelikte çeşitli dönüşümler oluşmakta ve dönüşüm ürünlerinin özelliklerine bağımlı olarak çeliğin mekanik özellikleri değişmektedir. Soğuma hızı dönüşüm soğuma hızına eşdeğer ya da ondan daha hızlı olduğunda “7 numaralı eğri” (bkz. Resim 3.13). ostenit, ne perlit ne de beynite dönüşmektedir. Sıcaklık, her çeliğin kimyasal bileşimine bağımlı olarak belli bir değere ulaştığında ostenit, martenzit diye anılan yeni bir faza dönüşür. Her çelik için farklı olan bu sıcaklık M_s sıcaklığı olarak bilinir ve ostenitin martenzite dönüşümünün başlangıcını simgeler.

M_s sıcaklığı her çelik için onun kimyasal bileşimine bağımlıdır. Ancak M_s sıcaklığını en çok etkileyen çeliğin karbon bileşenidir.

$\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşümü atom yayınması içermeyen bir dönüşümdür. Dönüşümün hızı ses hızına yakındır. Martenzit atomlarının belirli kristal düzlemleri üzerinde bir dizi kayma eylemleri sonucu doğar. Bu nedenle de martenzit dönüşümü için “kayma dönüşümü” adı da kullanılır. Anlaşılacağı gibi bu dönüşüm sonucu oluşan martenzit aynen olduğu ostenitin kimyasal bileşimini taşır [2,21,23].

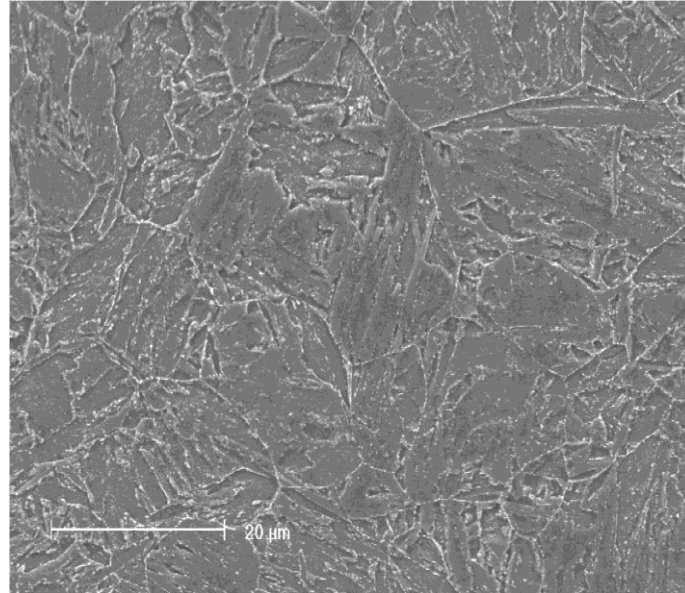
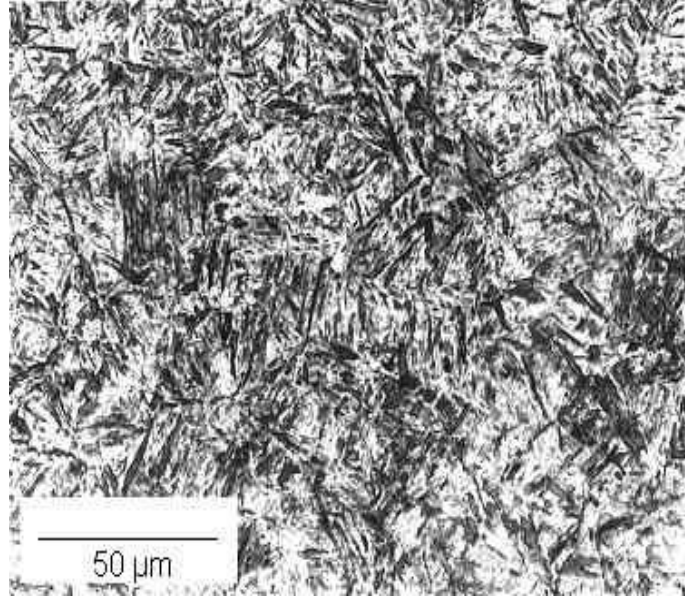


Şekil 4.3: Martenzit oluşumunun sıcaklığa bağlı ilerleyişi

Martenzit dönüşümünün diğer önemli bir özelliği, atom yayınması gerektirmediği için, süreye bağımlı olmamasıdır. M_s sıcaklığına erişildiğinde başlayan $\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşümü ancak sıcaklığın düşmesiyle sürebilir. Bu nedenle M_s sıcaklığı altındaki sıcaklıkların her birinde belirli oranda $\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşümü gerektirir ve buna göre de bu sıcaklıklar o dönüşüm oranlarını % olarak belirten M_{50} , M_{90} gibi simgelerle gösterilirler. Benzer biçimde $\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşümünün bittiği sıcaklık da M_f simgesi ile belirtilir. $\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşümü, sıcaklığa bağımlı doğrusal orantılı olarak ilerlemez. M_s sıcaklığı yakınındaki sıcaklıklarda az oranda martenzit oluşur, daha düşük sıcaklıklarda bu oran birden artar. M_f sıcaklığı yakınlarında ise martenzit oluşumu oranında yeniden bir duraklama olur.

M_s ve M_f sıcaklıkları her çelik için aynıdır, yalnızca çeliğin kimyasal bileşimine bağımlı olarak değişir. Çeliğin karbon içeriği arttıkça M_s ve M_f düşer [2,21,23].

Su verme işlemi sonucunda çelik hangi sıcaklığa dek soğutulmuşsa çelikte o sıcaklığa denk gelen dönüşüm oranı kadar martenzit oluşur. M_f sıcaklığına erişildi ise çeliğin içyapısında %100 martenzitik yapı oluşur. (Şekil 4.4). İşte su verme işleminin asıl amacı çeliğin içyapısında %100 martenzit oluşturarak “tam sertleşme” sağlamaktır.



Şekil 4.4: Martenzitik yapılar

4.5.1 Su Verme Soğutma Hızı

Su verme işleminin gerçek amacına ulaşılabilmesi için, çeliğin dönüşüm soğuma hızını aşan bir hızla soğutulması gerekmektedir. Anımsanacağı gibi ancak gereken koşul sağlandığında ostenit hiçbir dönüşüme uğramadan M_s sıcaklığına ulaşabilir.

Çeliğin kimyasal bileşimine, diğer bir deyişle çeliğin SSD eğrilerine bağımlı olarak dönüşüm soğuma hızı değişir. Çeliğin karbon ve özellikle de alaşım elementleri içeriği arttıkça, SSD eğrileri de sıcaklık ekseninden uzaklaştığından, daha yavaş soğuma hızları $v \rightarrow$ martenzit dönüşümünü sağlar duruma geçer. Bu nedenle çeliklerin % C ve % A.E arttıkça, sırasıyla suda, yağda ve havada su verme sonunda sertleşebilir duruma gelirler. Gerçek soğuma hızını etkileyen birçok etken vardır. Bunlar arasında en önemlileri; su verme ortamının türü ve sıcaklığı ile parçanın büyüklüğü, kütlesi ve yüzey durumu sayılabilir. Bu etkenlere bağlı olarak soğuma hızı da değişecektir.

4.5.2 Su Verme Ortamı

Su verme işleminin yapıldığı ortama “Su Verme Ortamı” adı verilir. Su verme ortamı genellikle sıvı ya da gaz olur. Su, alkollü su, tuzlu su, yağ, hava bunlara örnektir. Ayrıca buzlu su, buzlu + tuzlu + alkollü su, kuru buz (Katı CO_2) ve sıvı azot da su verme ortamı olarak kullanılabilir [2,16].

Su verme ortamı, SSD eğrilerine göre istenileni verebilmesi için öyle bir özellik göstermeli ki bunun sıcaklığında SSD eğrisini kesmemesi için ilk soğutma hızı çok yüksek olsun, T_N sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda da çeliğin çatlama olasılığını azaltmak için oldukça yavaş bir soğutma yapılabilir. Ne yazık ki bu özellikleri gösteren bir soğutma ortamı yoktur. Su ve tuzlu su ortamlar soğumanın A ve B aşamalarında oldukça hızlı bir soğuma sağlamalarına karşın soğuma hızları daha düşük sıcaklıklarda da yüksek kaldığından çarpılma ve çatlama yol açabilmektedirler. Su verme yağları ise sıvı ortamlara oranla daha uzun süreli bir buharlı örtü aşaması ve daha kısa süreli bir kaynama sergilerler. En hızlı soğutucu

tuzlu su, en yavaş olanı ise havadır. Ancak, su verme ortamlarının süreleri farklı olabilir.

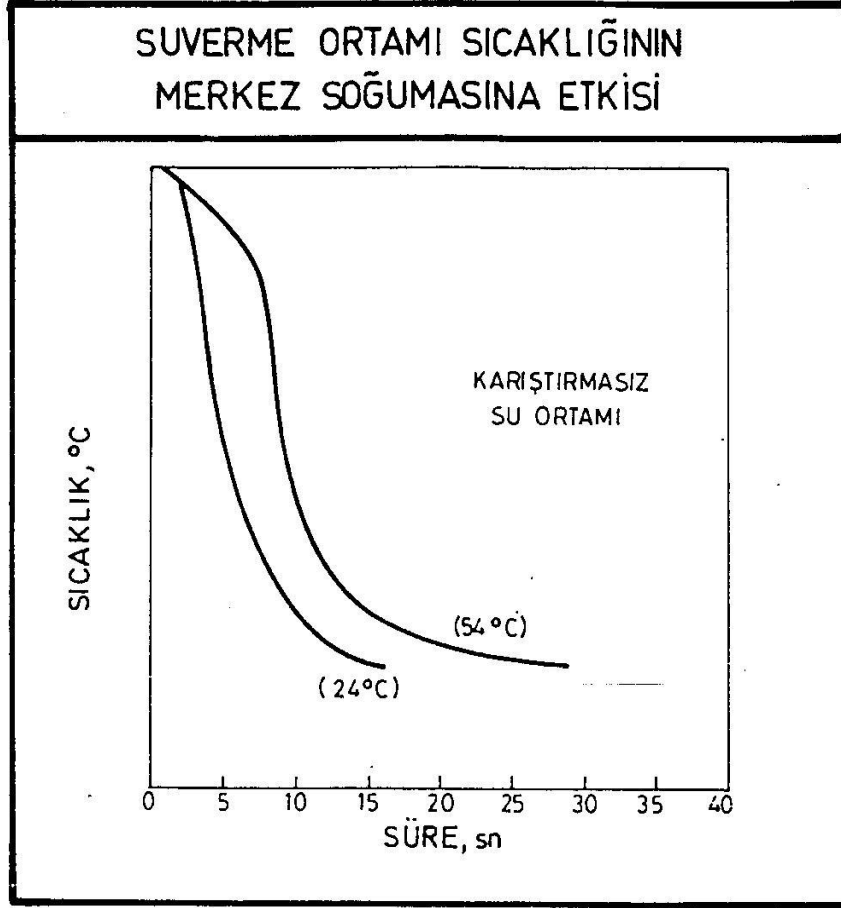
Buhar örtülü soğuma; Kızgın çeliğin sıcaklığı ilk anlarda, suya göre çok yüksek olduğundan çelik suya daldırılır daldırılmaz çelik yüzeye değen su buharlaşır ve ince bir buhar örtüsü oluşturarak çeliğin yüzeyini sarar. Bu durumda çelikten suya ısı iletimi bu buhar örtüsünden etkilenir ve oldukça yavaşlar.

Kaynama; Çelik yeterince soğuduğunda bu buhar örtüsü dengeli durumda kalmaz, şiddetli ve kaynama biçiminde çeliğin yüzeyinden koparak ayrılır. Bunun sonucunda çeliğin yüzeyi ıslanır ve çeliğin ısısı, buharlaşma gizli ısısı olarak gider. Bu aşamada soğuma en hızlı düzeyde gerçekleşir.

Sıvıda soğuma; Çeliğin yüzey sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığına eriştiğinde artık su buharlaşmaz olur. Soğuma, ısı iletimi ve konveksiyon yoluyla gerçekleşir ve oldukça yavaşlar [14,21].

4.5.3 Su Verme Ortam Sıcaklığı

Su verme ortamının sıcaklığı soğutma hızını etkilediği için önem kazanır. Su verme ortamının sıcaklığı arttıkça, genellikle soğuma hızı da düşer. Bunun temel nedeni buhar örtüsünün daha uzun bir süre dengeli kalabilmesi ve soğutmayı yavaşlatmasıdır. Sıvının sıcaklığı kaynama noktasına yaklaştıkça buharlaşma için gereken ısı da azalacağından doğal olarak çeliğin soğuması yavaşlar (Şekil 4.5) [19].

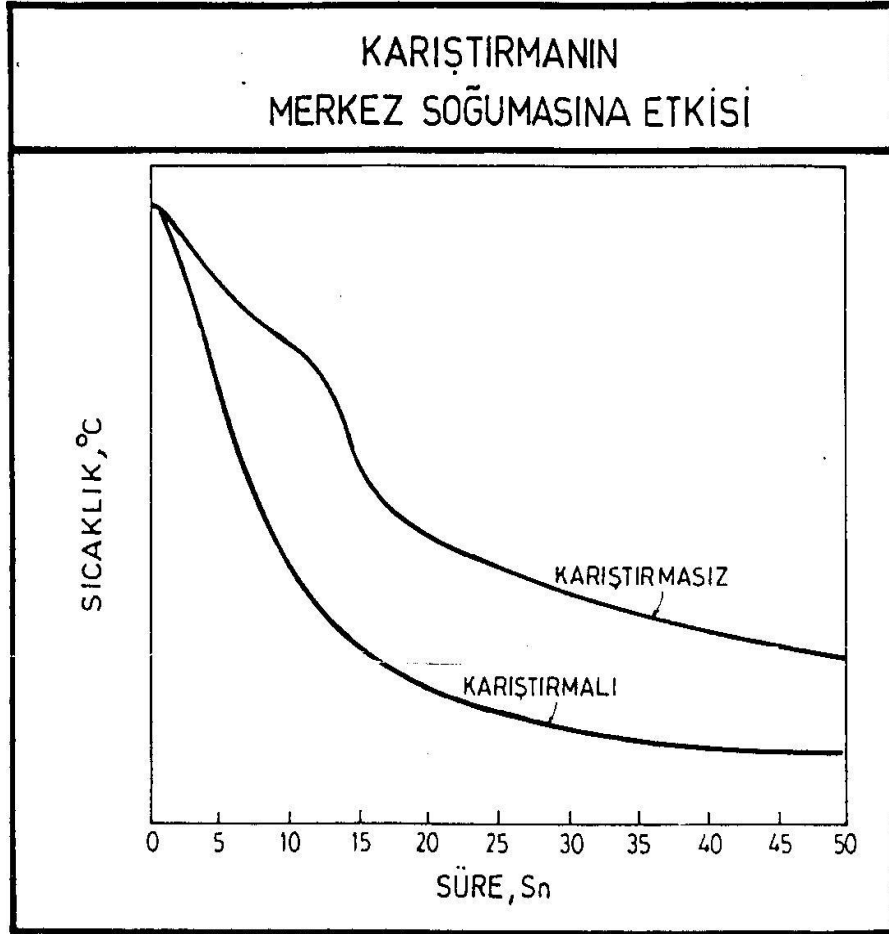


Şekil 4.5: Su verme ortam sıcaklığının soğumaya etkisi

Ancak yağ ortamlarında bunun karşıtı bir durum da doğabilir ve ortamın sıcaklığı arttıkça soğuma hızı artabilir. Bunun nedeni, diğer ortamlarda söz konusu olmayan viskozite olgusunda yatmaktadır. Isındıkça yağ daha akışkan bir duruma geldiğinden sıvı içinde ısı iletimi artar. Gerçek soğuma hız da bir yandan uzun süreli buhar örtüsünün soğumayı yavaşlatması ve diğer yandan da akışkanlığın artması sonucu artan ısı iletimi etmenlerinin hangisinin baskın olduğuna bağlı olarak gerçekleşir. Yağ ortamlarda en etkin soğutmalar 40°C - 50°C sıcaklıklar arasında olur [14,21].

Su verme işlemi sırasında ortamın sıcaklığının yükselmesini önlemek için ortamı oluşturan maddeden yeterince bulunması gerekir. Bazı durumlarda su verme ortamında karıştırma sağlanması da zorunlu olabilir. Karıştırma buhar örtüsünü yırttığından soğumayı hızlandırır. Karıştırmanın soğuma hızına etkisi Şekil 4.6' da görülmektedir. Bazı uygulamalarda da su verme tankının içine soğutma serpantinleri

yerleştirilir. Ayrıca su verme ortamında dolaşımı sağlayacak, soğutma sıvısını temizleyip soğutacak özel dzenekler de kurulabilir. Görüldüğü gibi ortamın yalnızca türü değil, onun karıştırılma ve soğuk tutulma durumu da çeliğin soğumasını etkilemektedir.

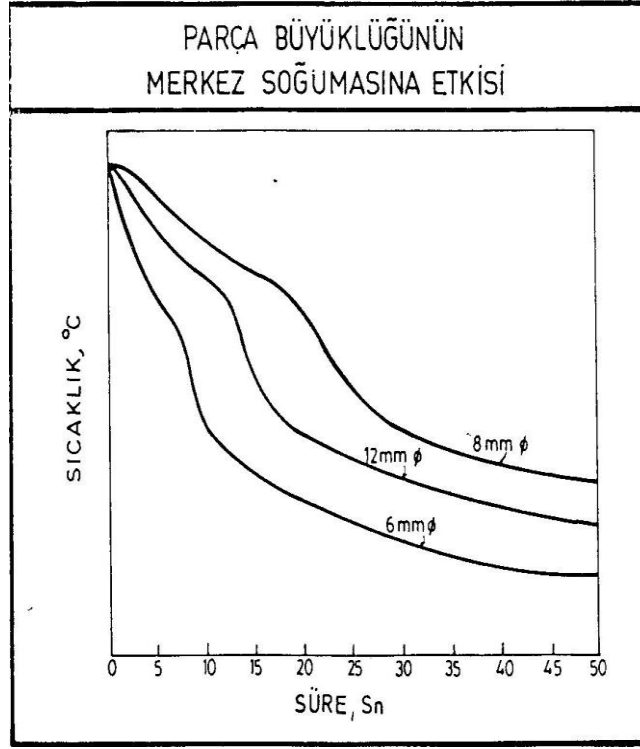


şekil 4.6: Karıştırmanın merkez soğumasına etkisi

4.5.4 Parça Büyüklüğü ve Kütlesi

Su verme sırasında, su verme ortamına yalnızca parça yüzeyi değdiğinden su verilen parçanın yüzey alanının kütlesine oranı gerçek soğuma hızını belirlemede önem kazanır. Bu oran parçanın biçiminin bir işlevidir ve küre için en küçük değerdedir. İnce şeritler, lamalar ve ince teller için bu oran yüksek olduğundan bu biçimdeki parçaların gerçek soğuma hızları da yüksektir [2].

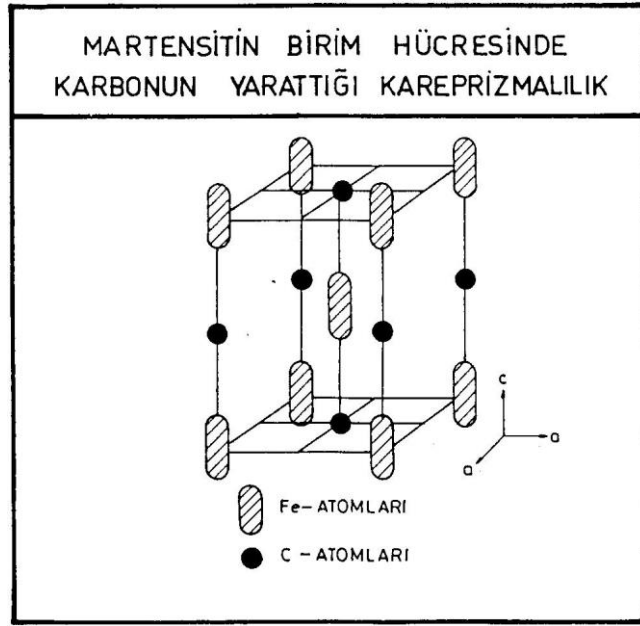
Açıkça görüldüğü gibi su verme koşulları altında parça büyüklüğü arttıkça gerçek soğuma hızı düşecek ve parça daha yavaş soğuyacaktır. Şekil 4.7’da parça büyüklüğünün soğuma süresine etkisi görülmektedir.



Şekil 4.7: Parça büyüklüğünün merkez soğumasına etkisi

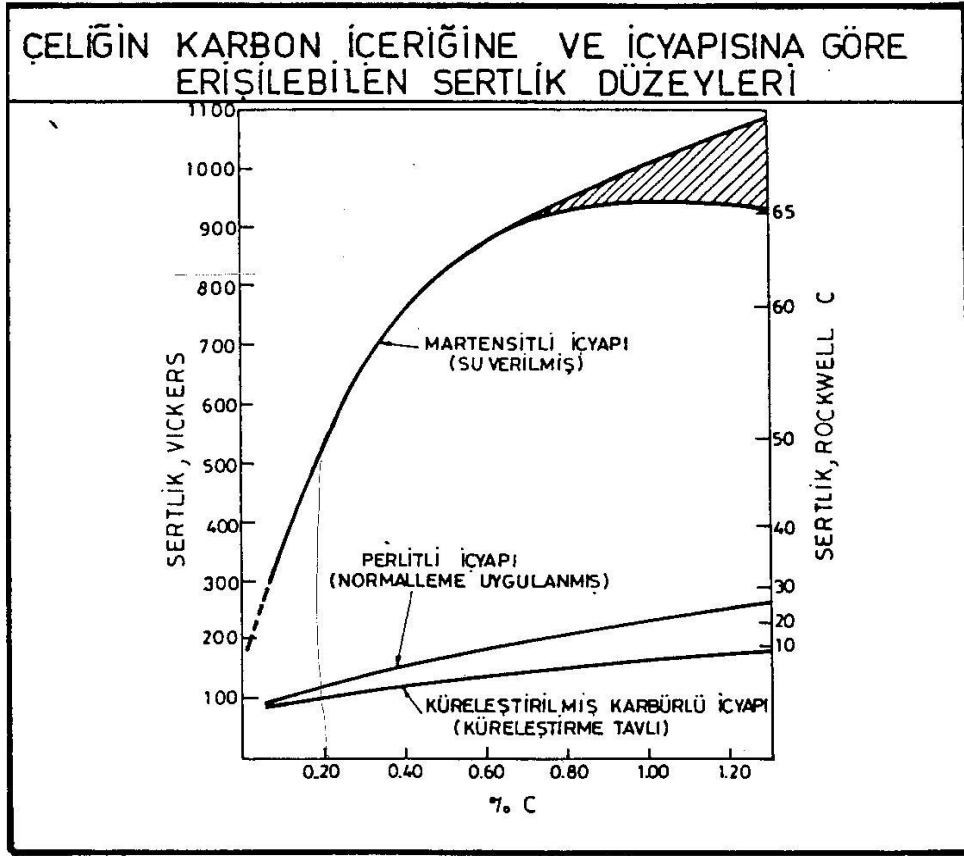
4.6 Martenzit ve Çeliğin Sertleşmesi

Çeliğin su verilerek sertleştirilmesi tümüyle ve yalnızca martenzit oluşumuna bağlıdır. Martenzit yarı dengeli bir durumda bir katı çözeltilidir. Ostenit denge koşullarında soğutulduğunda oda sıcaklıklarında dengeli durumda var olan ferrite dönüşür. Ferrit hacim merkezli kübik kristal yapıya sahiptir. Ancak çelik ostenit bölgesinden su verildiğinde denge koşulları var olmadığından ferrit oluşmamakta ve bir kayma dönüşümü sonucu yarı dengeli bir faz olan martenzit doğmaktadır. Martenzit kristal yapısı hacim merkezli kare prizma biçimindedir (Şekil 4.8) [2].



Şekil 4.8: Karbonun oluşturduğu kareprizmalılık

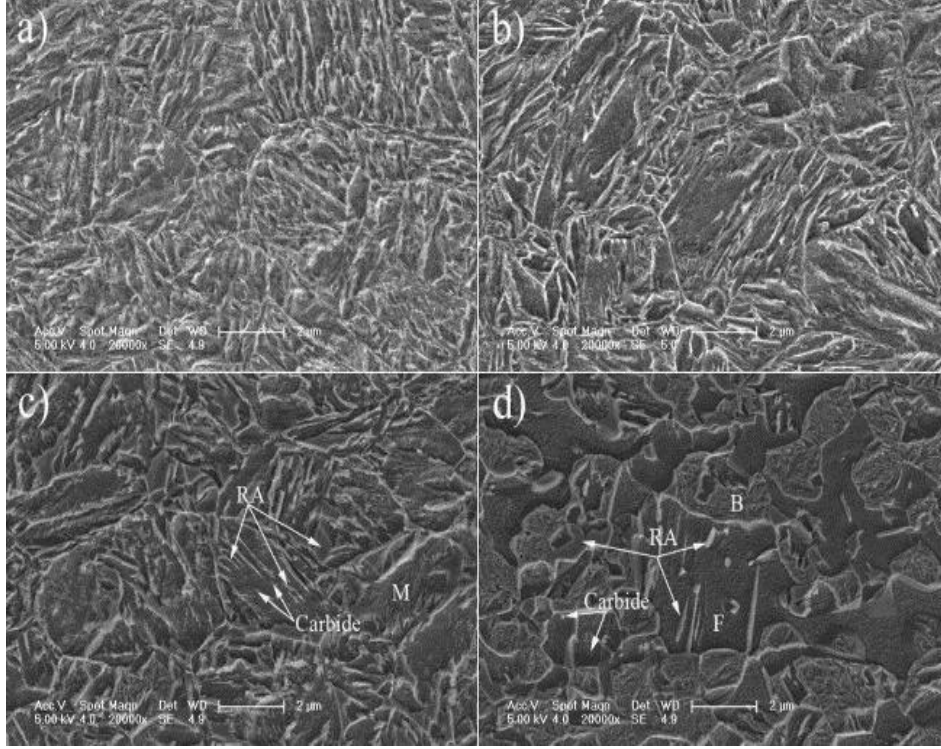
Martenzitin bu kare prizma biçimini ostenitin dönüşümü sırasında dengeli koşullarda, olmamaları gereken konumlarda sıkışıp kalmış karbon atomları oluşturmaktadır. Martenzit oluşumunda da çeliğin karbon oranı arttıkça martenzitin iç gerilimleri artacak ve bu da yapıyı çok gevrek bir duruma getirecektir. Ancak martenzite sertliğini veren de bu olgudur. Çeliğin karbon oranı arttıkça su verilmiş çeliğin erişilebilen sertlik düzeyi de artar, bunu Şekil 4.9'da açıkça görebiliriz. Yüksek karbonlu çeliklerin orta ve düşük karbonlu çeliklere göre daha yüksek sertliğe ulaşmaları tümüyle martenzitin kristal yapısında oluşturulan yüksek düzeydeki iç gerilimleri nedeniyledir [2,24].



Şekil 4.9: Karbon içeriğine bağlı olarak erişilebilen sertlik düzeyleri

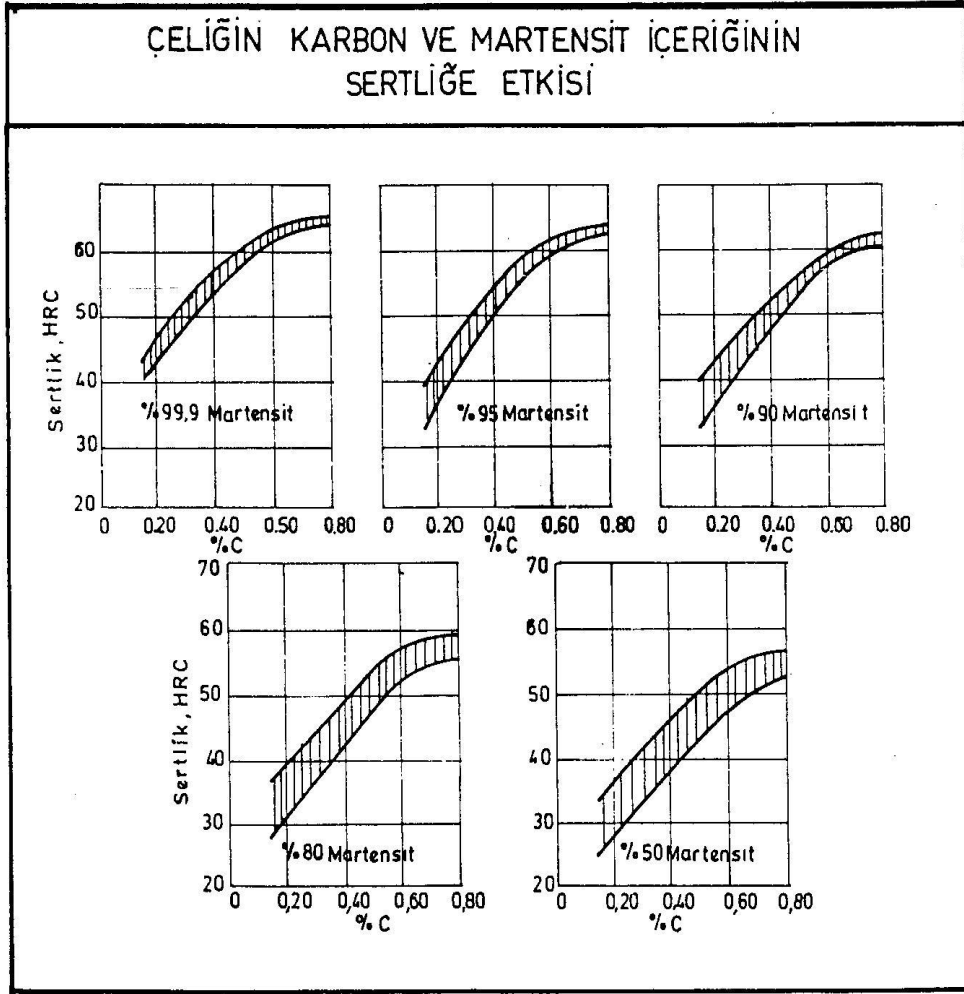
Tam sertleşme, çeliğin içyapısında %100 martenzit oluşumu sonunda doğar. İkincisi ise $v \rightarrow$ martenzit dönüşümünün, çeliğin M_s ve M_f sıcaklıkları arasında bir sıcaklığa soğutulduğunda o sıcaklığa denk gelen bir oranda martenzit oluşturacağı olgusudur. Bu bilgiler ışığında şunu kavramak kolaydır; Eğer çelik M_f sıcaklığı üzerinde bir sıcaklıktaki bir ortamda su verilecek olursa su verilmiş durumda içyapısında martenzite dönüşmemiş olarak duran ostenit fazı bulunacaktır. Bu dönüşmemiş ostenit “artık ostenit” adıyla anılır. (Şekil 4.10).

Artık ostenit çeliğin içyapısında ne denli artarsa çeliğin su verilmiş durumundaki sertliğini o derece düşürür. Çeliğin karbon içeriğine bağımlı olarak, olağan koşullarda su verilmiş çeliklerin içyapılarındaki kalan ostenit yüzdesinin değişimi belirgin bir biçimde etkilenmektedir. Anlaşılacağı gibi çeliğin karbon içeriği arttığında içyapısındaki kalan ostenit’te artacak ve çelik tam sertleşme durumundan uzaklaşmış olacaktır [2].



Şekil 4.10: Yapıda artık ostenit (RA)

$\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşüm oranı ile çeliğin karbon içeriğinin su verilmiş çeliklerin sertliğine birlikte etkileri Şekil 4.9’da açıkça görülmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi, %C ile $\gamma \rightarrow$ martenzit dönüşüm oranı arttıkça su verilmiş çeliğin sertliği de artmaktadır [15].



Şekil 4.11: Karbon ve martenzit içeriğinin sertliğe etkisi

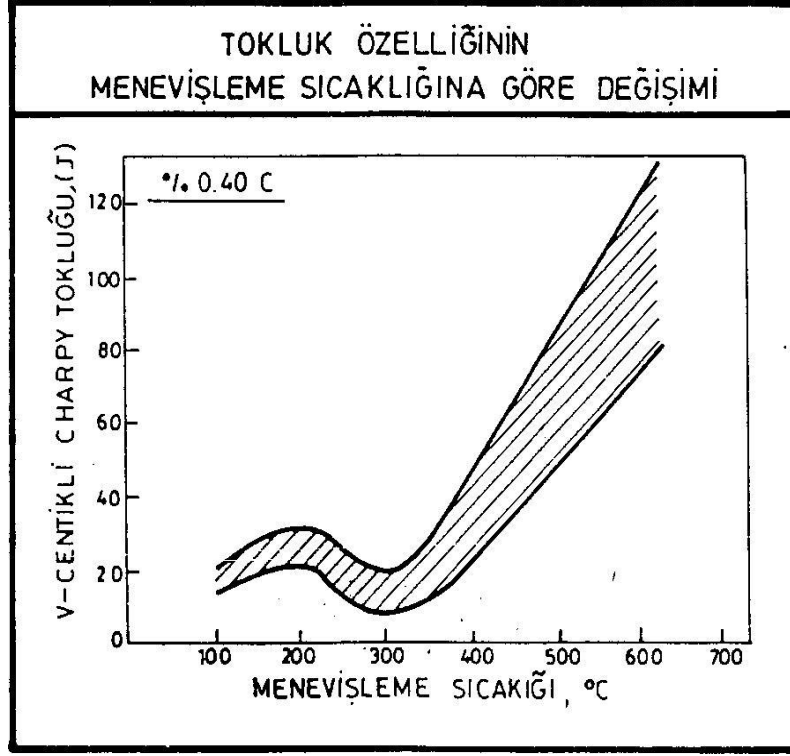
4.7 Menevişleme

Su verilmiş bir çelikte martenzit dönüşümünün olduğunu, martenzitin aşırı doymuş bir katı çözültü olarak yüksek iç gerilimli ve çok sert bir faz olduğunu, martenzitli içyapıların sertliklerine karşın çok gevşek olduklarını biliyoruz. Su verilmiş çelikte kazanılan yüksek sertlik ve yüksek dayanıma karşılık çeliğin süneklik ve tokluğu hemen hiç yok gibidir. Üstelik çelik su verilmiş durumda bir uygulamaya sokulma durumunda, çatlama ve kırılma olasılığı çok yüksek olduğundan, çelikten uzun süre ve ekonomik olarak yararlanılamaz.

Su verilmiş çelik parçaları mühendislik uygulamaları açısından kullanılabilir duruma getirebilmek için, onların gevrekliklerinin giderilmesi ve tokluk kazandırılması gereklidir. Bu amaçla yapılan ısıtma işlemi “menevişleme” adı verilir.

Menevişleme, çeliğin Ae_1 sıcaklığı altındaki uygun bir sıcaklıkta istenilen mekanik özellik düzeylerine erişinceye dek ısıtma ve uygun olarak soğutma işlemlerini kapsar. Menevişlenmiş çelik bu ısıl işlem sonucu tokluk ve süneklik kazanır. Ancak, bunlara karşın da sertlik ve dayanımından belirli oranda yitirir. Uygulanacak menevişleme işleminde seçilecek olan menevişleme sıcaklığı ve menevişleme süresi, kazanılan tokluk ve süneklik ile yitirilen sertlik ve dayanım arasındaki dengenin nerede kurulmak istendiğine göre seçilir. Belirli bir mühendislik uygulaması için seçilecek menevişleme koşulları, o uygulama alanının gerektirdiği tokluk ve sertlik arasındaki dengeyi sağlamak üzere seçilir.

Menevişleme işleminin öncelikli amacı su verilmiş çeliğe tokluk kazandırmak olduğuna göre menevişleme işleminin çeliklerin tokluk özelliğine etkilerini görebilmek için Şekil 4.12’de orta karbonlu bir çelikte (\approx %40 C) menevişleme sıcaklığına bağlı olarak tokluk özelliğinin değişimini inceleyebiliriz. Buradaki eğri, daha doğrusu eğriler kuşağı, yalın karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin genel davranışlarını sergilemekle beraber bütün çeliklerin davranışları için de genellenebilir. Menevişleme sıcaklığı 100°C sıcaklıktan başlayarak çeliğin tokluğunu arttırmaktadır. Ancak 300°C civarındaki sıcaklıklarda menevişlenmiş çeliklerde bir tokluk düşüşü ya da diğer bir deyişle yeniden bir gevrekleşme görülür. Bu gözlem bu çeliklerde ortaya çıkan genel bir olgudur ve “ 300°C gevrekleşmesi” adı ile anılır. Menevişleme sıcaklığı 350°C üzerine çıktığında tokluk yeniden iyileşmeye ve yükselmeye başlar [20].



Şekil 4.12: Tokluk özelliğinin menevişleme sıcaklığına göre değişimi

300°C gevrekleşmesi temel bir olgu olarak alınırsa menevişleme işlemlerinde bunu önemli bir ayırma noktası olarak alabiliriz. Eğer 200° - 400°C sıcaklık aralığını, 300° gevrekleşmesinin karşılaşılabileceği bir sıcaklık aralığı olarak belirlersek, menevişleme işlemlerinde bu sıcaklık aralığını, bir anlamda yasak bölge olarak ilan edebiliriz. Böylece karşımıza, anılan bu sıcaklık aralığının altındaki düşük menevişleme sıcaklıkları bölgesi ve bir de 400°C üstünde yüksek menevişleme sıcaklıkları bölgesi çıkmaktadır.

200°C altındaki düşük meneviş sıcaklıklarında gerçekleştirilen menevişleme işlemleri tokluğu çok arttırmadığı gibi sertlik ve dayancı da fazla düşürmez. Bu nedenle düşük menevişleme sıcaklıkları yüksek sertliğin gerektiği uygulamalar, yüksek menevişleme sıcaklıkları ise yüksek tokluk gereken uygulamalar için seçilirler. Bir bakıma, aşınma direncinin yüksek istendiği çeşitli takımlar gibi uygulamalar için düşük meneviş sıcaklıkları, çarpma kırılmasına karşı yüksek tokluk istenen, örneğin top ve tabanca namluları, uygulamaları için ise yüksek (500-600°C) meneviş sıcaklıkları tercih edilir [2,19,22].

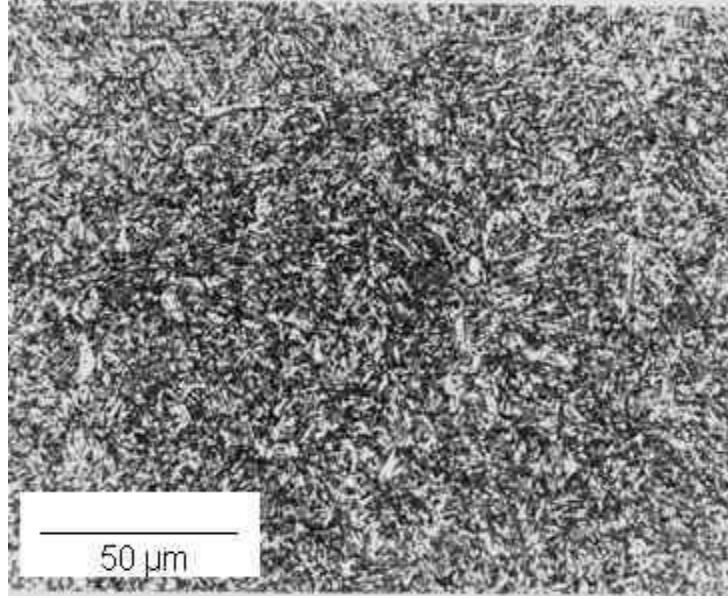
4.7.1 Menevişlemede İçyapısal Değişimler

Martenzitin aşırı doymuş bir katı çözeltili olduğunu ve kristal yapısındaki karbonlardan ötürü de yarı dengeli durumda olduğunu biliyoruz. Su verilmiş çeliğin içyapısında yalnızca martenzit bulunmayabilir. Bilindiği gibi M_f sıcaklığına erişilmedi ise yapıda belirli oranda ostenitte bulunacaktır. Ostenit fazı da oda sıcaklıklarında martenzit gibi yarı dengeli durumdadır.

Su verilmiş çeliğe tokluk kazandırmak için menevişleme işlemi uygulandığında hem martenzit hem de yapıda kalan ostenit dönüşüme uğrayacaktır. Menevişleme sıcaklıklarındaki ısıtma martenzitin kristal yapısı içindeki karbon atomlarının dışarı kusulmasına yol açar. Martenzitin kare prizmalığının bir ölçüsü olan (c / a) oranı menevişlemenin başlamasıyla birlikte düşmektedir. Bunun anlamı ise martenzit içindeki karbon atomları yapıdan dışarı atılmakta ve kare prizma biçimindeki kristal yapı küp biçimine dönüşmektedir.

Martenzitten dışarı kusulan karbon atomları hemen çevrede buldukları Fe atomları ile demir karbürleri oluşturarak çökelirler. Martenzitin geri kalan kitlesi ise karbon azaldıkça kristal yapısını küpe dönüştürerek en sonunda ferrit oluşturur. Ancak, gerek karbürlerin çökeli mi ve gerekse martenzitin ferrite dönüşmesi atom yayınmasını gerektirdiğinden belirli süreler alır. Menevişleme işleminin uygulandığı sıcaklık ve süreye bağımlı olarak elde edilen içyapıya, ayırım yapmadan, “menevişli martenzit” adı verilir. (Şekil 4.13). Menevişli martenzit içeren çeliklerin içyapıları incelendiğinde içlerinde karbür çökelmiş, martenzit taneleri gözlenir.

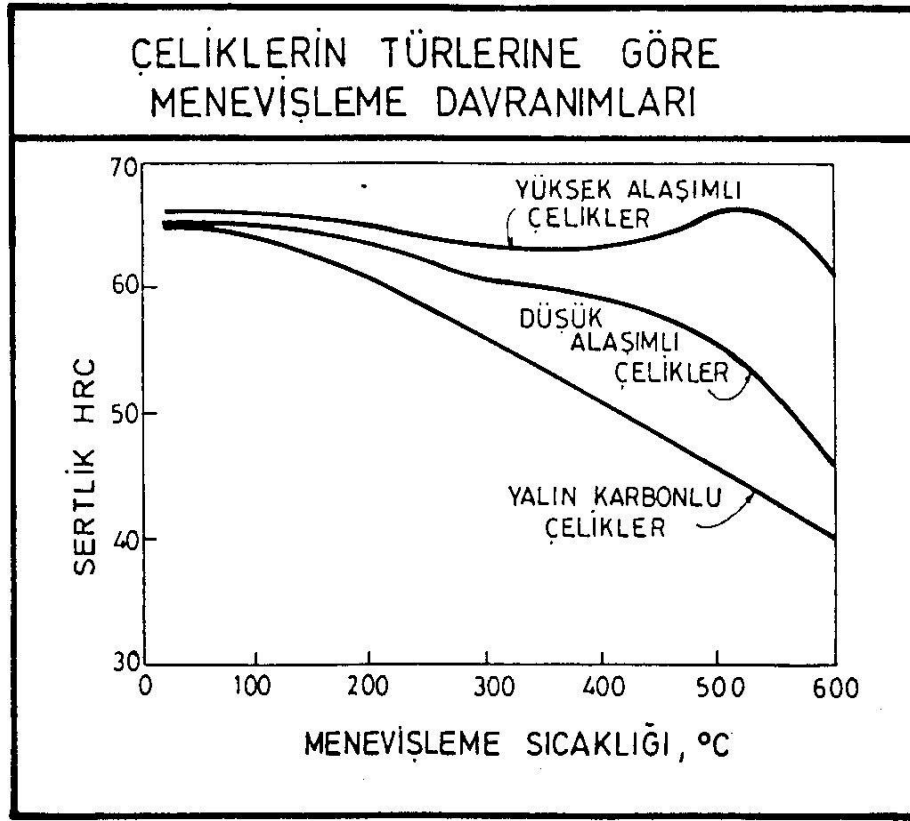
Artık ostenite gelince; Uygulanan menevişleme sıcaklığı T_N sıcaklığının altında kaldığı sürece, bunun dönüşmesiyle beynit oluşur. Daha yüksek sıcaklıklarda ise perlit de oluşabilir. Bunların etkileri su verilmiş çeliğin içyapısındaki kalan ostenit oranı ile eşit dönüşüm eğrilerine göre süreye bağımlı beynite dönüşüm oranlarına bağı olacaktır [21,22].



Şekil 4.13: Menevişli martenzit

4.7.2 Mekanik Özelliklerdeki Değişimler

Menevişleme işlemi ile içyapılarında değişiklikler meydana gelen çeliğin mekanik özellikleri de değişir. Menevişleme işlemi ile çeliklerin tokluk özelliklerinin arttığını, sertlik ve dayanç özelliklerinin ise sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini söyleyebiliriz. Menevişleme sıcaklığı ne denli yüksek tutulursa, sertlik ve dayanım o denli düşer. Ancak düşme etkisi hem uygulanan menevişlemeye ve hem de çeliğin bileşimine bağlıdır. Şekil 4.14'de çeliklerin bileşimlerine göre menevişleme davranışları özetlenmiştir [2].



Şekil 4.14: Çeliklerin türlerine göre menevişleme davranışları

Yalın karbonlu çelikler meneviş işlemine tabi tutulduklarında menevişleme sıcaklığının artışı ile sertliklerini belirgin bir biçimde yitirir ve yumuşarlar.

Düşük alaşimli çeliklerde yalın karbonlu çeliklerinkine benzer bir davranış gösterirler ancak, 400°C civarındaki yumuşamaları daha azdır. Bu davranışa “gecikmeli yumuşama” adı verilir. Gecikmeyi doğuran, düşük alaşimli çeliklerin bileşimlerindeki karbür yapıcı Cr, Mo, V gibi elementlerin karbürlerinin çökmeye başlamasıdır.

Yüksek alaşimli takım çelikleri ise farklı bir menevişleme davranışı gösterirler: Karbür yapıcı elementleri içeren bu tür çelikler, yaklaşık 450°C civarında yumuşamalarını durdurup yeniden sertleşmeye başlarlar. Bu yeni sertleşme olgusu “ikincil sertleşme” adıyla anılır ve 550 - 600°C arasında bir doruk noktasından geçer. Yüksek alaşimli kalıp ve takım çeliklerinin bu sıcaklıklarda menevişlenmelerinin nedeni bu ikincil sertleşme olgusudur [2].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Giriş

Madencilik sektörü açısından oldukça zengin olan ülkemizde, bu sektörde kullanılmakta olan iş makinalarının birçok parçası çalışma şartlarından dolayı aşınmakta veya kırılmaktadır.

Bu çalışmada TKİ Kurumuna bağlı Manisa'nın Soma ilçesinde Linyit Kömürü üretimi yapan Ege Linyitleri İşletmesinde çalıştırılmakta olan elektrikli ekskavatörlerde kullanılan kepçe dişlerinin, performans mukayeseleri yapılarak yerli üretim kepçe dişlerindeki performansın artırılabilmesi hedeflenmiştir.

Ege Linyitleri İşletmesi makine parkında, 14 adet Marion ve 2 adet P&H marka olmak üzere, kepçe kapasiteleri 15-17 ve 20 yd³ arasında değişen toplam 16 adet elektrikli ekskavatör (Shovel) çalıştırılmaktadır.



Şekil 5.1: Elektrikli ekskavatör genel görünüş

5.2 Kepçe Dişleri

Ekskavatörlerde kazı işlemini gerçekleştiren ana eleman makinanın kepçesi olup, kepçe ana bileşenleri içerisinde en fonksiyonel parçayı ise kepçe dişleri oluşturmaktadır.



Şekil 5.2: Ekskavatör kepçe ve kepçe dişleri

Madencilik sektörü başta olmak üzere, ağır çalışma şartlarında kullanılan kepçe dişlerinde;

- Yüksek Mukavemet ve Tokluk
- Yüksek Sertlik
- Yüksek Aşınma Direnci, aranılan en belli başlı özelliklerdir.

Yüksek akma mukavemeti dişlerin yük altındaki deformasyonunu önlemekte, Yüksek aşınma direnci ise çalışma ömrünün uzamasına etki etmektedir.

İnceleme yapmış olduğumuz Ege Linyitleri İşletmesinde çalıştırılmakta olan yerli üretim kepçe dişlerinde, çok sık olarak kırılma problemleri yaşanmasına rağmen, yurtdışı üretimi olan orijinal dişlerde bu tür problemlerin yaşanmaması problemin, çalışma şartlarının dışında malzeme ve üretim yöntemi farklılıklarından kaynaklı olduğunu açıkça göstermiştir [22,23].



Şekil 5.3: Makina üstünde kırık kepçe diş görüntüleri



Şekil 5.4: Kırık kepçe diş görüntüleri

Açık ocaklarda çalıştırılmakta olan ekskavatörlerde yaşanan, kepçe dişi kırılma problemleri;

- Ekskavatörlerin zorunlu duruşlarına,
- Bu duruş neticesinde ekskavatörle birlikte çalışmakta olan, taşıma grubundaki kamyonların da zorunlu olarak faaliyetlerini gerçekleştirememesine,
- İşçilik ve tamir sürelerinin artmasına,

- Zaman ve daha fazla yedek parça sarfiyatına ve dolayısı ile
- İş programlarından sapmalara ve ekonomik zararlara sebep olmaktadır.

Problem bu çerçevede değerlendirildiğinde bir kepçe dişinin, işletmedeki makinalarda sebep olacağı gereksiz duruşların beraberinde ne denli kayıplara sebep olacağı açıkça görülmektedir [10].

5.3 Çalışmada İzlenen Yol

Yapmış olduğumuz çalışmada; yerli olarak üretilmiş olan A ve B firmalarına ait kepçe dişleri ile Orijinal olarak temin edilmiş olan USA menşeli “Hensley” marka kepçe dişlerinin malzeme ve üretim yöntemleri karşılaştırılmak suretiyle performans ve dayanım farklılıklarının sebep tespiti amaçlanmıştır.



Şekil 5.5: Orijinal “Hensley” kepçe dişine ait görüntü



Şekil 5.6: A ve B Firmalarına ait kepçe dişi görüntüleri

5.4 Eldeki Verilerin Tesbiti

Bilindiği gibi bir alaşımda, istenilen mekanik özellik düzeylerine erişebilmek için gerekli olan içyapıları oluşturmak, iki temel etkene bağlıdır. Bunlar;

- Kimyasal Bileşim ve
- Uygulanan Isıl İşlem

olarak tanımlanabilir [17].

5.4.1 Kepçe Dişlerinin Kimyasal Analizleri

Bu iki temel kriterden hareketle, yapmış olduğumuz çalışmanın ilk aşaması, permormanslarını mukayese edecek olduğumuz kepçe dişlerinin kimyasal bileşimlerinin tespiti olmuştur.

- Farklı üreticilerden temin edilmiş olan her bir kepçe dişinin, spektrometre cihazı ile yapılan kimyasal analiz sonuçlarının ortalama değerleri, Tablo 5.1’de gösterilmiştir.
- P ve S oranları, her üç parça için de $<0,001$ olduğu için tabloda bu değerlere ayrıca yer verilmemiştir.

Tablo 5.1: Kepçe dişleri kimyasal kompozisyonları

	C	Si	Mn	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Pb	Ceq
A	0,24	0,229	0,773	0,065	0,012	0,52	0,158	0,465	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,54
B	0,223	0,481	0,665	<0,001	0,029	0,781	0,213	1,624	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,64
HENS LEY	0,209	1,448	0,954	0,112	0,030	2,036	0,256	0,213	0,012	0,003	0,008	0,004	<0,001	0,004	0,85

Karşılaştırmaları yapılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları incelendiğinde; Si, Mn, Cu, Cr, Ni elementlerinde belirgin bir farklılığın olduğu görülmektedir.

Yapmış olduğumuz araştırmada “Hensley” kepçe dişinin bu kimyasal kompozisyonunun standart bir malzeme kompozisyonu içerisinde yer almadığı görülmüştür. Karşılaştırmaları yapılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları incelendiğinde; Si, Cr alaşım elementlerinde belirgin bir farklılığın olduğu gözle çarpmaktadır.

“Yapmış olduğumuz araştırmada “Hensley” kepçe dişinin bu kimyasal kompozisyonunun standart bir malzeme kompozisyonu içerisinde yer almadığı görülmüştür”[13].

5.4.2 Kepçe Dişlerinin Sertlik Ölçümleri

Her üç kepçe dişine ait, yapılmış olan sertlik taramalarında Tablo 5.2’de görülen değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.2: Kepçe dişi sertlik değerleri

DİŞLER	SERTİK
A	420-460 HB
B	300-335 HB
HENSLEY	440-465 HB



a) A Dişi

b) B Dişi

c) Orijinal “Hensley” Diş

Şekil 5.7: A ve B firmalarına ait kepçe dişi sertlik nüfuziyetleri

Şekil 5.7’deki fotoğraflarda; kepçe dişlerinin yüzeyden merkeze doğru olan sertlik değişimleri görülmektedir. Görüntüden de anlaşılacağı gibi “Hensley” kepçe dişini kesebilmek mümkün olmamıştır.

5.5 Alaşım Elementlerinin Sertlik ve Tokluk Üzerine Etkileri

Alaşım elementlerinin sertlik ve tokluk üzerine olan etkilerini incelediğimizde;

- Si: Malzemenin, sünelik ve tokluğunu dűřürmeden dayanımını ve sertliğini arttırır.
- Mn: Dönűřüm hızını dűřürmesinden dolayı sertleřebilirliđi büyük oranda arttırır.
- Cr: Dayanımı ve sertleşebilme özelliğini arttırır.
- Ni: Krom ile birlikte kullanılan nikel sertliğin derinliğe inmesini sağlar.
- Mo: Krom ve nikel ile beraber kullanılan molibden az miktarda katılmasına rağmen sertlik ve dayanımı arttırır [12,14].

5.6 Fabrika Çalışmaları

5.6.1 Kimyasal Yapı Kompozisyonunun Oluşturulması



şekil 5.8: Ham alaşım elementleri

Kimyasal yapı kompozisyonu oluşturmak için, şekil 5.8' de görűlen ham alaşım elementleri, istenilen oranlarda karıştırılmaktadır.

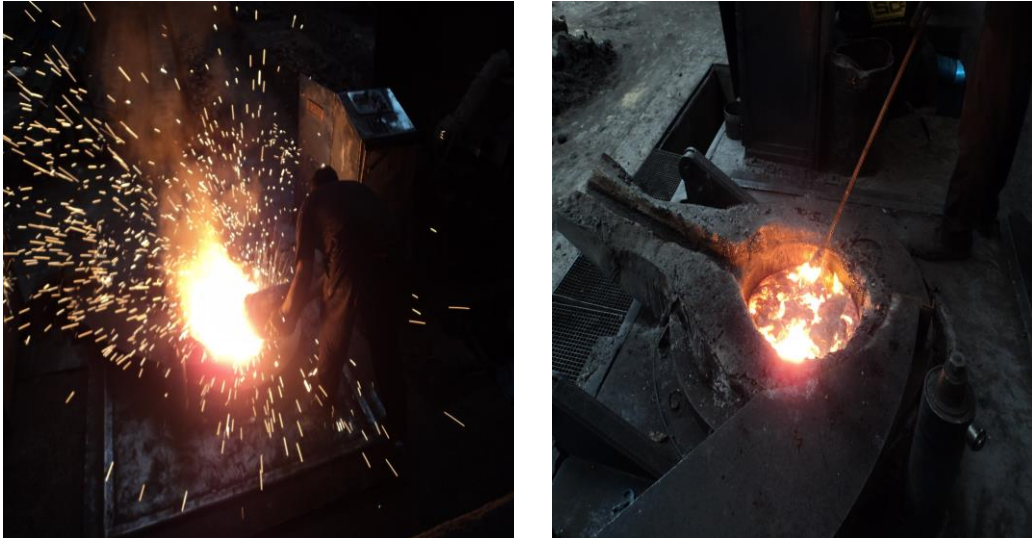
Bu işlem, şekil 5.9'da görűleceđi gibi, metallerin yapı içerisindeki oranları dikkate alınarak hassas bir ölçüm işlemi sonucu yapılır.

Numunelerimizi oluşturmak için gerekli olan ergitme ve döküm işlemleri Konya’da yerleşik Motus Otomotiv Makina ve Metalurji San. Ve Tic A.ř.’nde yapılmıştır.



şekil 5.9: Alaşım elementleri tartım işlemi

İstenilen oranlarda karıştırılan metaller, bir indüksiyon ocağı içerisinde şekil 5.10’da görüldüğü gibi ergitilir.



şekil 5.10: Alaşım elementlerinin indüksiyon ocağında ergitilmesi

İndüksiyon ocağında ergitildikten sonra bir kevgir yardımıyla ocaktan alınan ve “çubuk” olarak adlandırılan numune, yüzeyi zımparalandıktan sonra spektrometre cihazında kimyasal bileşimi kontrol edildi. Yapılan ölçümde istediğimiz kimyasal bileşim oranı elde edilene dek eksik olan miktar kadar tekrar alaşım elementi ilave edilmek suretiyle numune alma ve analiz işlemleri tekrarlandı. İstenilen kimyasal kompozisyon değerlerine ulaşıldığında ise ergiyik metal hazır hale gelerek, döküm işlemine geçildi.



Şekil 5.11: Zımparalama ve spektrometre cihazında kimyasal bileşim kontrolü

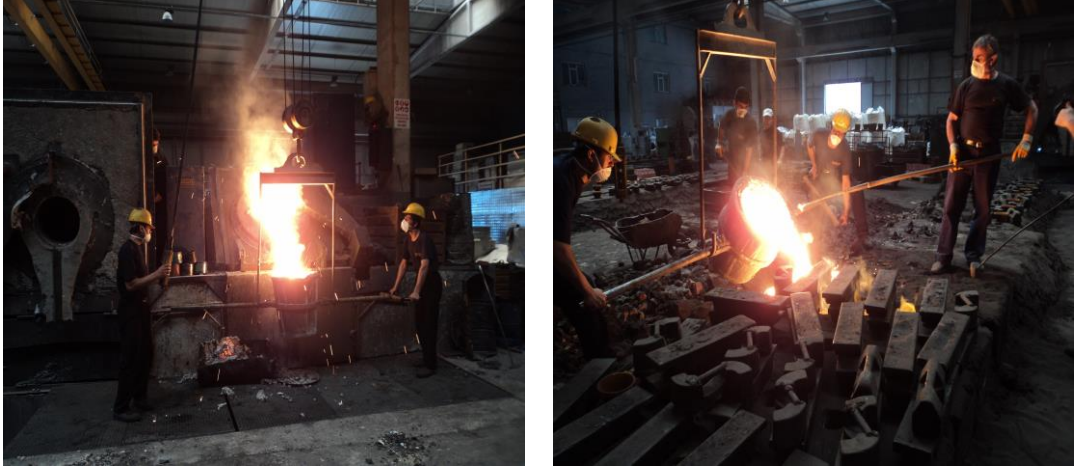
5.6.2 Döküm İşlemi



Şekil 5.12: Döküm işleminin gerçekleştirildiği kum kalıplar

Kimyasal bileşimi kontrol edilerek, uygun kompozisyonda elde edilmiş olan sıvı metal alaşım, dökümü yapılacak olan kepçe dişleri için daha önceden

hazırlanmış olan kum kalıplara boşaltılmak üzere potalara alınarak döküm işlemi gerçekleştirildi.



Şekil 5.13: Sıvı metalin potalara alınması ve kalıplara döküm işlemi

Kalıplara döküm işlemi gerçekleştirilen metal alaşımın, kalıp içerisinde soğuyarak katılaşması beklendi.

Bütün bu işlemlerden geçirilerek orijinal kepçe dişi kompozisyonunda elde etmiş olduğumuz numunelerimiz (orijinal diş boyutlarında değildir), değişik ısı işlemlere tabi tutulmak amacıyla hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.14: Orijinal kimyasal yapıda hazırlanmış numuneler

5.6.3 Isıl İşlem

Daha önce de söylenildiği gibi bir alaşımda, istenilen mekanik özellik düzeyine erişebilmek için, kimyasal yapı kompozisyonu dışındaki, ikinci temel etken malzemeye uygulanan ısıl işlemlerdir.

Malzemelerde olması istenilen her bir özellik, diğer bir özelliği olumsuz olarak etkilediğinden dolayı ihtiyacımızı karşılayabilecek malzeme özelliklerini ancak optimum sınırlarda ve doğru ısıl işlemler uygulayarak sağlayabiliriz.

5.6.3.1 Ostenitleme İşlemi

Daha önce de belirttiğimiz gibi; Çeliklerin özelliklerinin, ısıl işlemler ile değiştirilip geliştirilebilmesi, demirin oda sıcaklığı ile yüksek sıcaklıklardaki kristal yapısının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Bu bakımdan çelik, kimyasal bileşimine bağımlı olarak içyapısı tamamen ostenite dönüştürülmek üzere ısıtılır.

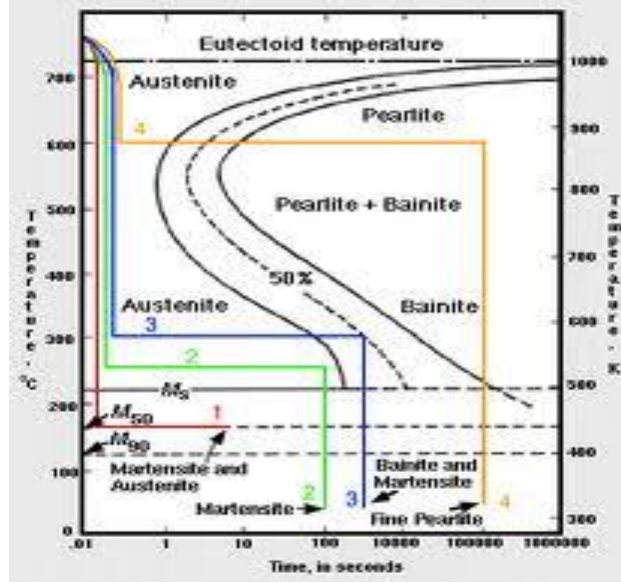
Çalışmamızda, Fe-C denge diyagramında, içerdiği karbon oranına bağlı olarak A_3 sıcaklığını tesbit etmiş olduğumuz alaşım numunelerimiz, 880 °C sıcaklıkta 30 dk. süresince fırın içerisinde bekletilerek iç yapıdaki perlitin ostenite dönüştürülmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.15: Isıl işlemin gerçekleştirildiği tav fırınları

5.6.3.2 Su Verme

Ostenitleme sonrası soğuma hızına bağımlı olarak çelikte çeşitli dönüşümler olmaktadır. Dönüşüm ürünlerinin özelliklerine bağlı olarak da çeliğin mekanik özellikleri değişmektedir. Soğuma hızı çeliğin dönüşüm soğuma hızına eşdeğer veya ondan daha hızlı olduğunda ostenit, perlit veya beynite dönüşmeden, martenzit olarak anılan yeni bir faza dönüşmektedir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: Soğuma eğrileri ve faz dönüşümleri

Bu çalışmamızda; ostenitleme işlemi yapmış olduğumuz orijinal yapıdaki numunelerimizin 3 tanesi su ortamında, 3 tanesi de yağ ortamında olmak üzere farklı ortamlarda su verme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.17: Su verme ortamları

Su verme ortamının sıcaklığı soğutma hızını etkilediği için önemlidir. Su verme ortam sıcaklığı arttıkça, genellikle soğuma hızı da düşer. Bunun temel nedeni ise buhar örtüsünün daha uzun bir süre dengeli kalabilmesi ve soğutmayı yavaşlatmasıdır. Sıvının sıcaklığı kaynama noktasına yaklaştıkça buharlaşma için gereken ısı da azalacağından doğal olarak çeliğin soğuması yavaşlar.

Ancak yağ ortamında bunun karşıtı bir durum da oluşabilir ve ortamın sıcaklığı arttıkça soğuma hızı da artabilir. Bunun nedeni, diğer ortamlarda sözkonusu olmayan viskozite olgusudur.

Yağ ısındıkça daha akışkan bir duruma geldiğinden sıvı içinde ısı iletimi artar. Gerçek soğuma hızı da bir yandan uzun süreli buhar örtüsünün soğumayı yavaşlatması ve diğer yandan da akışkanlığın artması sonucu artan ısı iletimi, etmenlerinin hangisinin baskın olduğuna bağımlı olarak gerçekleşir.

Bu sebeptendir ki, yapmış olduğumuz çalışmada farklı su verme ortamlarının malzeme içyapılarına etkilerini görebilmek ve farklı mekanik özelliklerdeki malzemeler elde edebilmek amacı ile, su ve yağ ortamları kullanılmıştır.

Yağ ortamlarda en etkin soğutmalar 40°C ile 50°C sıcaklıklar arasında olduğundan, numunelerimize su verme işlemi bu sıcaklık aralığında yapılmıştır. Su ortamında yapılan işlemde ise, parça üzerinde oluşan buhar örtüsünü yırtarak soğumayı hızlandırdığından dolayı soğutma suyu sürekli olarak karıştırılmıştır.

5.6.3.3 Menevişleme

Su verilmiş bir çelikte oluşan martenzitik yapının, iç gerilimleri yüksek, sert ve aşırı doymuş katı bir çözelti olduğunu, kazanılan yüksek sertlik ve dayanıma karşılık süneklik ve tokluğunun hemen hemen yok denecek kadar az olduğunu biliyoruz.

Bu halleriyle kullanımda çatlama ve kırılma olasılıkları çok yüksek olduğundan dolayı çelikten uzun süre ve ekonomik olarak yararlanılması mümkün değildir.

Su verilmiş bu çelik parçaları mühendislik uygulamaları açısından kullanılabilir duruma getirebilmek için, onların gevrekliklerinin giderilmesi ve tokluk kazandırılması gerekmektedir. Bu amaçla su verme işlemlerinden sonra malzemeler üzerinde yapılan ısıtılma işlemine “Menevişleme” adı verilir.

Menevişleme, çeliğin A_{e1} sıcaklığı altındaki uygun bir sıcaklıkta istenilen mekanik özellik düzeylerine erişinceye dek ısıtılması ve uygun olarak soğutulma işlemlerini kapsar.

Menevişlenmiş çelik bu işlem sonucu, tokluk ve süneklik kazanır. Ancak, bunlara karşın da sertlik ve dayanımından belirli oranda yitirir. Uygulanacak menevişleme işleminde seçilecek olan menevişleme sıcaklığı ve menevişleme süresi, kazanılan tokluk ve süneklik ile kaybedilen sertlik ve dayanım arasındaki dengenin nerede kurulmak istendiğine göre seçilir.

Yapmış olduğumuz çalışmada orijinal kimyasal kompozisyondaki çeliğin, değişik menevişleme sıcaklıklarında kazanacağı, mekanik özellikleri tesbit edebilmek amacıyla numunelerimiz farklı olarak, 210°C, 400°C ve 600°C’ de menevişleme işlemlerine tabi tutulmuşlardır.

Su vermiş olduğumuz numune çelikler A_{c1} sıcaklığının altında düşük (210°C), orta (400°C) ve yüksek (600°C) temperleme kademelerinde 1’er saat bekletilip ardından fırın içerisinde soğutularak menevişlenmişlerdir.

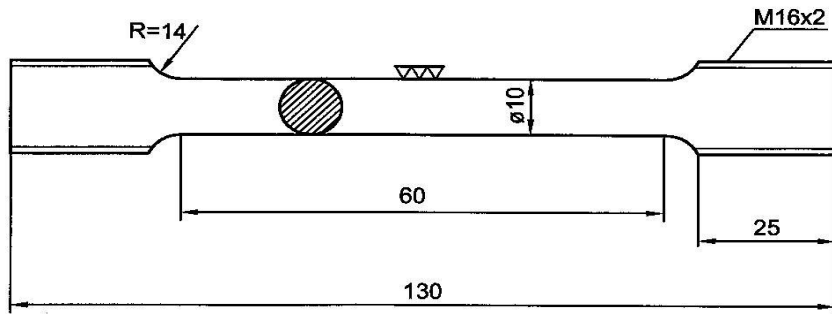
5.6.4 Çekme Deneyi

5.6.4.1 Deneyin Amacı

Malzeme seçiminde mekanik özellikler esas alınır. Malzemelerin mekanik özelliklerinin de, içyapılarına bağlı olduğunu ve uygun ısıl işlemler uygulayarak malzemelere farklı mekanik özellikler kazandırılabilceğini biliyoruz. Uygulanan ısıl işlemin uygun olup olmadığı genellikle tahribatlı malzeme muayenesiyle belirlenir. Tahribatlı malzeme muayenesi de daha çok mekanik deneylerle gerçekleştirilir. Malzemelerin mekanik davranışlarını incelemek ve yapılarıyla özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için farklı mekanik deneyler yapılır. Ancak yapılan mekanik deneyler içerisinde en yaygın olanı çekme deneyidir. Bunun nedeni ise çekme deneyinden hem malzemelerin mekanik davranışlarıyla ilgili sonuçlar elde edilmesi hem de elde edilen sonuçların mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılmasıdır. Bu nedenle bu deneyin amacı, farklı ısıl işlemlerin metal malzemelerin mekanik özelliklerine etkilerini çekme deneyi yardımıyla incelemek ve belirli uygulamalar için en uygun ısıl işlemin nasıl belirleneceğini ortaya koymaktır [15].

5.6.4.2 Deneyin Yapılışı

Bu çalışmamız için, farklı ısıl işlemlere tabi tutulmuş olan numunelerimiz (8 adet), mekanik özelliklerinin tayin edilebilmeleri için, TS 138 A normuna uygun olarak Şekil 5.18'de gösterilen ölçülerde talaşlı imalat yöntemi ile işlenerek hazırlanmıştır.



Şekil 5.18: Kullanılan çekme numunesi ölçüleri

Aşağıda; çekme deneyi için hazırlanmış olan numunelerin su verme ortamları ve menevişleme sıcaklıkları görülmektedir.

- (1) No'lu numune; A firmasına ait kırılan kepçe dişi malzemesi
- (2) No'lu numune; B firmasına ait kırılan kepçe dişi malzemesi

- (3) No'lu numune; Yeni Orijinal diş malzemesi

Su verme ortamı: Su, Menevişleme sıcaklığı: 210°C

- (4) No'lu numune; Yeni Orijinal diş malzemesi

Su verme ortamı: Yağ, Menevişleme sıcaklığı: 210°C

- (5) No'lu numune; Yeni Orijinal diş malzemesi

Su verme ortamı: Su, Menevişleme sıcaklığı: 400°C

- (6) No'lu numune; Yeni Orijinal diş malzemesi

Su verme ortamı: Yağ, Menevişleme sıcaklığı: 400°C

- (7) No'lu numune; Yeni Orijinal diş malzemesi

Su verme ortamı: Su, Menevişleme sıcaklığı: 600°C

- (8) No'lu numune; Yeni Orijinal diş malzemesi

Su verme ortamı: Yağ, Menevişleme sıcaklığı: 600°C



Şekil 5.19: Hazırlanmış çekme deney numuneleri resimleri

Hazırlanan numuneler Şekil 5.19’da görüldüğü gibi numaralandırılarak, tek ekseninde ve sabit bir hızla koparıncaya kadar çekme işlemine tabi tutulmuşlardır.

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de çekme makinasına bağlanmış olan numunelerin çekme işlemi öncesi ve çekme işlemi sonrasındaki durumları görülmektedir.



Şekil 5.20: Çekme deneyi öncesi ve sonrası (4 no’lu numune)



Şekil 5.21: Çekme deneyi öncesi ve sonrası (8 no’lu numune)

Çekme deneyi “Wolpert” marka 400 KN çekme cihazında yapılmış olup, cihazın ön kalibrasyon işlemi TS EN ISO 7500-1 standartlarına göre 24.06.2010 tarihinde yaptırılmıştır.

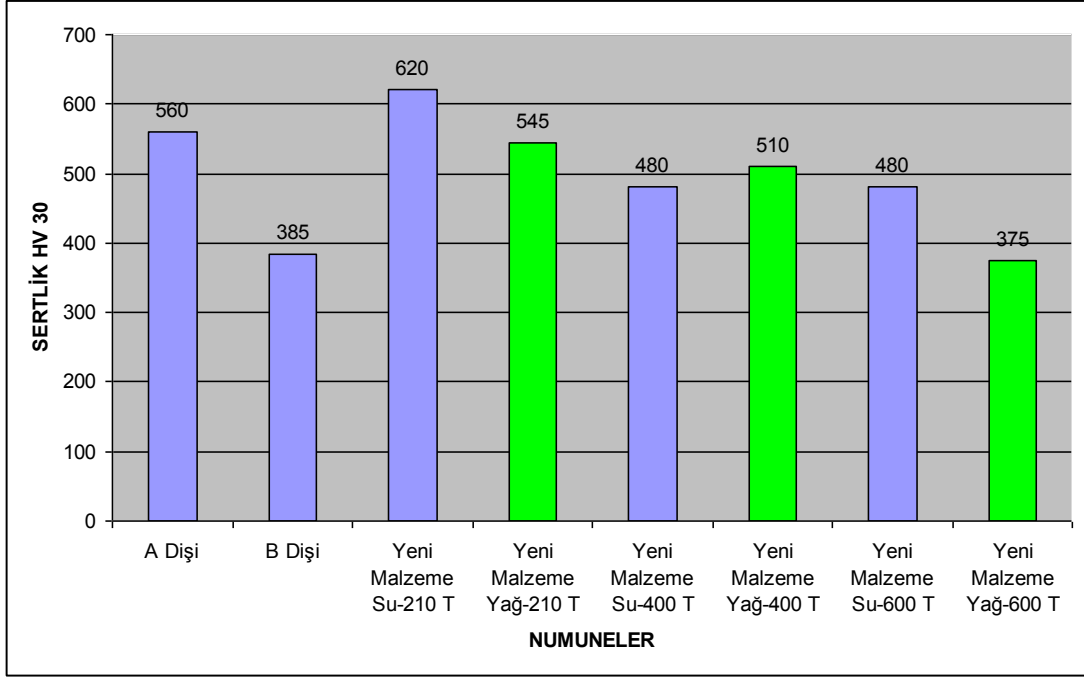


Şekil 5.22: Çekme deneyi sonrası numune resimleri

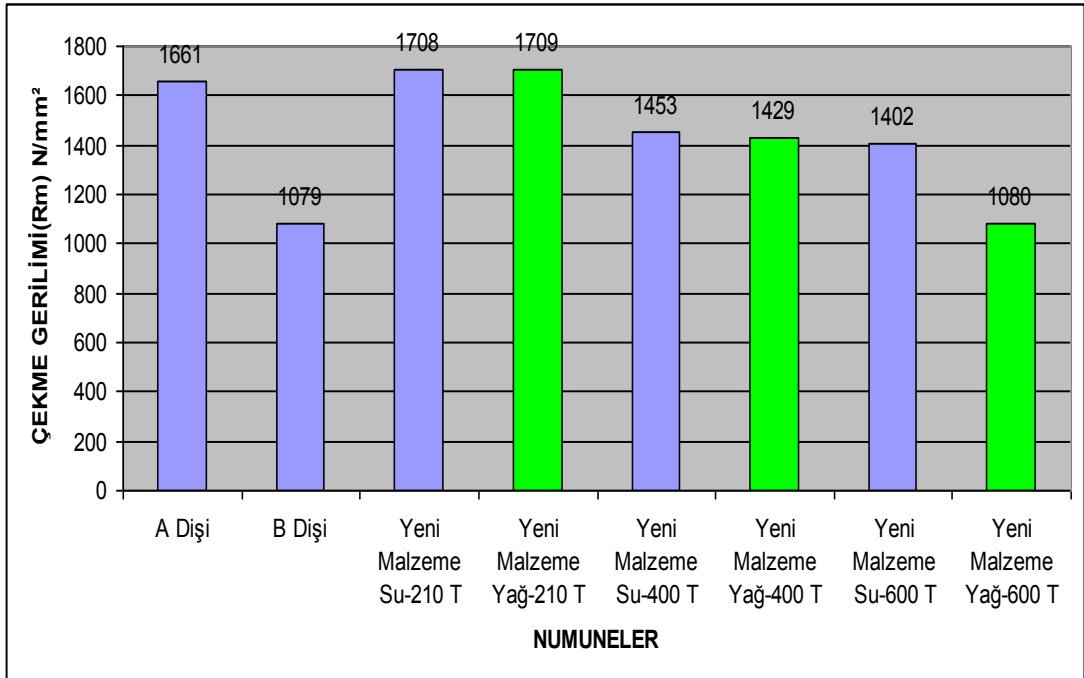
Tablo 5.3: Çekme deneyinde elde edilen sonuçlar

ÇEKME DENEYİ NUMUNE NO	ÇEKME GERİLİMİ (Rm) N/mm ²	AKMA DAYANIMI (Rp0,2) N/mm ²	KOPMA UZAMASI (A) %	KESİT DARALMASI (Z) %	SU VERME ORTAMI	TEMPER SICAĞLIĞI	SERTLİK HV 30
1	1661	1330	4,4	10,57	Bilinmiyor	Bilinmiyor	560
2	1079	993	11,1	39,66	Bilinmiyor	Bilinmiyor	385
3	1708	1332	9,66	9,06	SU	210°C	620
4	1709	1372	9,62	8,55	YAĞ	210°C	545
5	1453	1200	5,7	15,69	SU	400°C	480
6	1429	1251	5,7	18,10	YAĞ	400°C	510
7	1402	1231	7,5	15,00	SU	600°C	480
8	1080	923	9,8	28,31	YAĞ	600°C	375

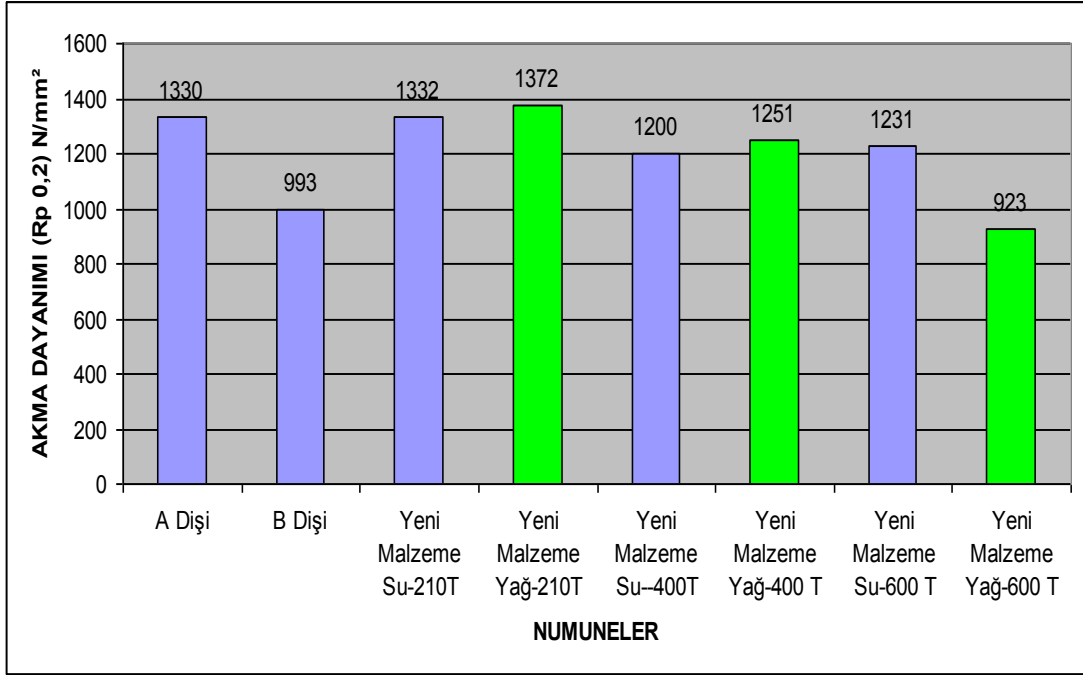
Tablo 5.4: Temperlenmiş numunelerin sertlik değerleri



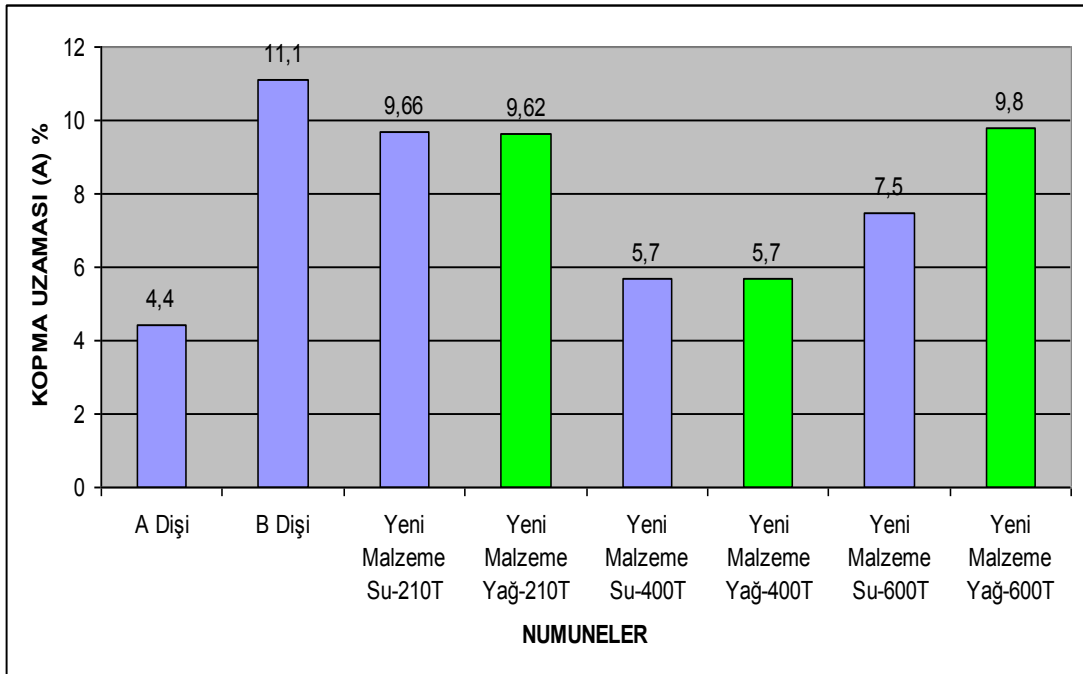
Tablo 5.5: Temperlenmiş numunelerin çekme gerilim değerleri



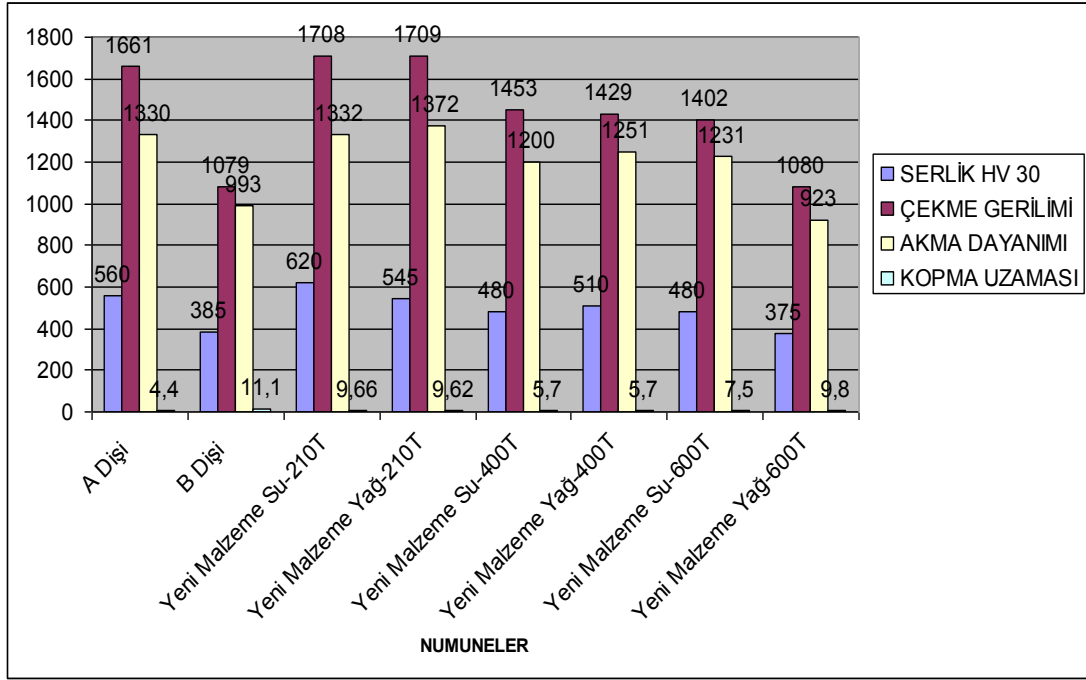
Tablo 5.6: Temperlenmiş numunelerin akma gerilim değerleri



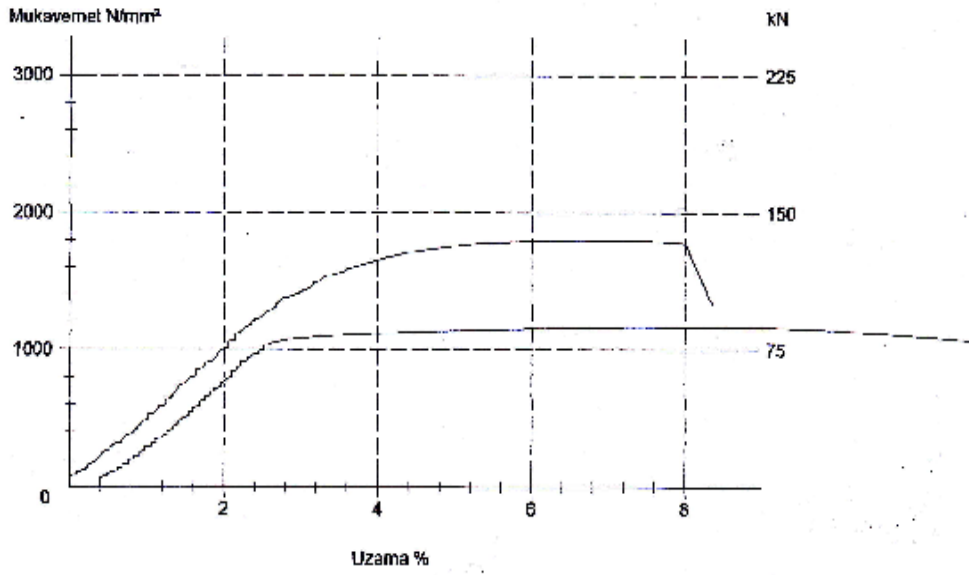
Tablo 5.7: Temperlenmiş numunelerin kopma uzaması (A) % Değerleri



Tablo 5.8: Numunelerin sertlik, çekme gerilimi, akma dayanımı ve kopma uzaması değerleri



Grafikler

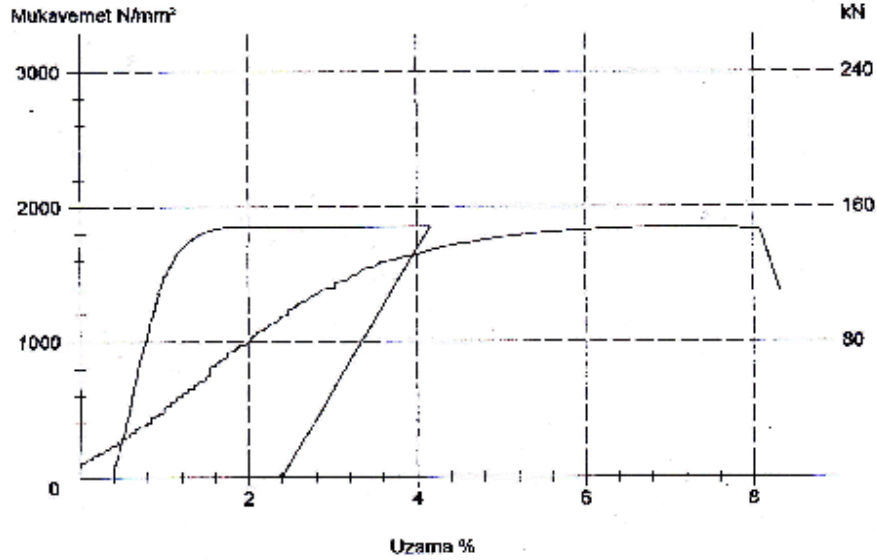


Deney hız parametreleri :

Ön yük : 2 N/mm²
Deney hızı : 50 mm/dk.
Akma aralığı hızı : 40 mm/dk.

Şekil 5.23: (1) ve (2) Nolu numunelere ait çekme eğrileri

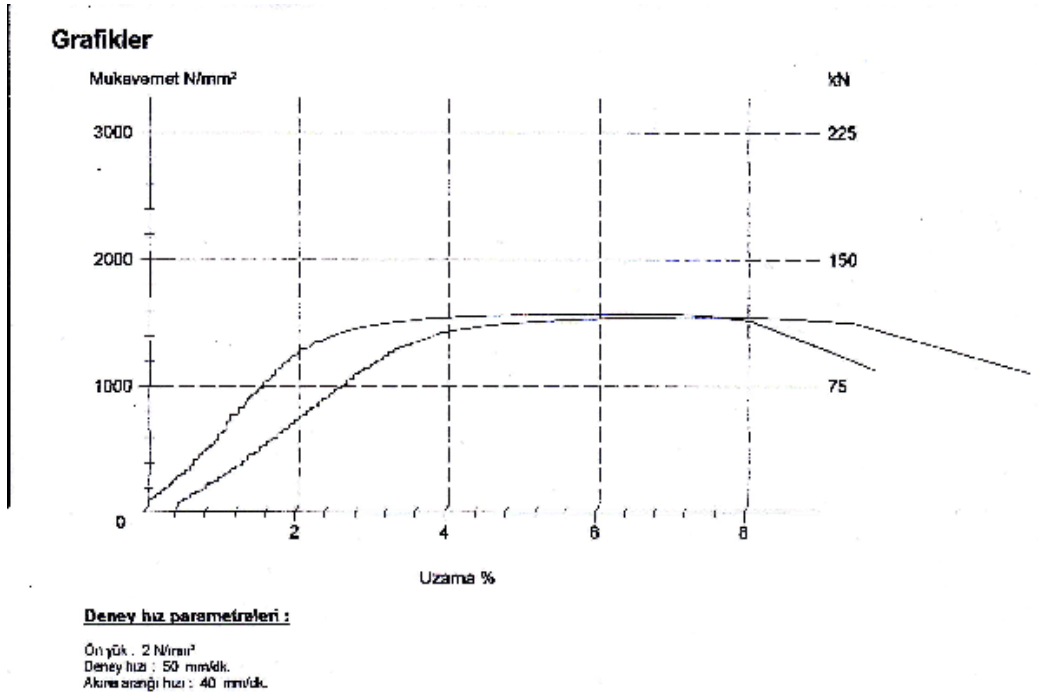
Grafikler



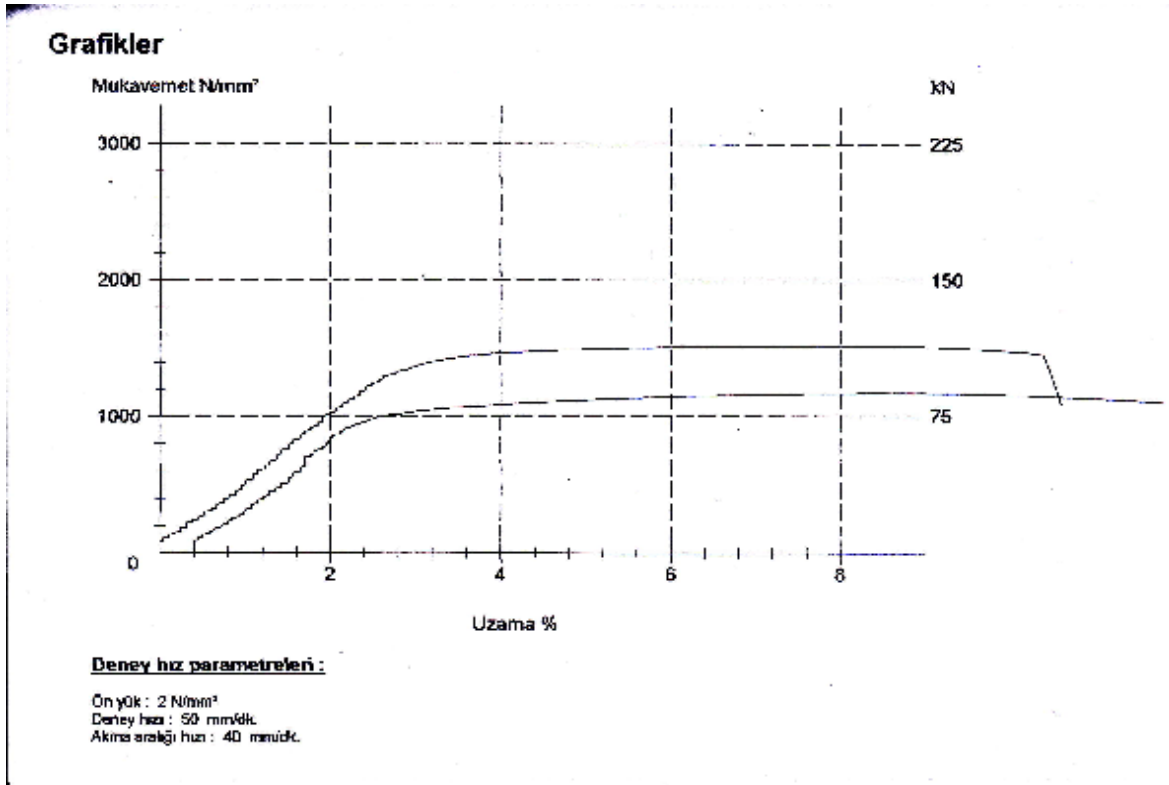
Deney hız parametreleri :

Ön yük : 2 N/mm²
Deney hızı : 50 mm/dk.
Akma aralığı hızı : 40 mm/dk.

Şekil 5.24: (3) ve (4) Nolu numunelere ait çekme eğrileri



Şekil 5.25: (5) ve (6) Nolu numunelere ait çekme eğrileri



Şekil 5.26: (7) ve (8) Nolu numunelere ait çekme eğrileri

5.6.5. Metalografik Muayene

5.6.5.1 Deneyin Amacı

Metalografik muayene ile malzemelerin içyapıları incelenerek malzeme dokusu ve özellikleri tespit edilir. Metalografik muayene, malzemelerin görmüş olduğu işlemler ve imalat aşamalarında malzeme üzerinde meydana gelen değişikliklerin açıkça görülmesine imkan vererek, istenilen özelliklerdeki malzemeye ait üretim yöntemlerinin saptanmasına yardımcı olur. Ayrıca bu yöntem ile üretilmiş olan malzemelerin ömrü, çalışma şartları gibi önemli özellikleri önceden tahmin edilebilir. Özellikle kalite kontrol aşaması olarak orta ve büyük ölçekli bütün imalathanelerde kullanılmaktadır.

5.6.5.2 Metalografik Muayene İle İlgili Bilgiler

Makina mühendisliğinde %95 civarında metal malzemeler kullanılmaktadır. Bu nedenle metalografik muayene de makine mühendisliğinde çoğunlukla metallere uygulanmaktadır. Metal atomları düzgün geometrik yapılar oluşturarak dizilirler. Aynı doğrultudaki geometrik yapılar tane adı verilen gruplar halinde bir araya gelirler. Atmosferik şartlar altında metal yüzeyinde kir, pas ve nem tabakaları oluşur. Bu tabakalar gerçek yüzeyin görülmesini engellerler. Bu yüzden muayene parçasının bir yüzeyi düzeltilerek parlatılır. Düzeltme işlemi SİC su zımparaları ile gerçekleştirilir. Daha sonra çok küçük boyutlardaki alümina tozu (Al_2O_3) aşındırıcı olarak keçe üzerine dökülerek parlatılır. Parlatma işleminden sonra malzeme yüzeyine kimyasal enerji verilerek, (dağlama işlemi) tane sınırlarındaki yüksek enerjili atomlar koparılarak malzeme içerisi oluşturulan bu renk farklılığından dolayı görünür hale getirilmiş olur [15].

5.6.5.3 Deneyin Yapılışı

Isıl işlemlerle değişik içyapılar elde etmiş olduğumuz numunelerimizin oluşan yeni içyapılarını görebilmek için bu aşamada numunelerimize mikroyapı incelemesi yapıldı.

Metalografik muayene ile ilgili çalışmalarımız TKİ'ne bağlı Garp Linyitleri İşletmesine ait laboratuvar merkezinde yapılmıştır.

Metalografik içyapı kontrolüne tabi tutulacak olan malzemelerden öncelikle numune alınmalıdır. Numune, parçamızın içyapısını ve onun bütün özelliklerini gösteren en küçük malzeme örneğidir.

Numune Hazırlama; Metalografik içyapı kontrolüne tabi tutulacak numunelerin, incelenecek mikro yapı elemanlarına göre, malzemenin neresinden ne tür bir numunenin alınacağı tespit edildikten sonra kesilerek numune alma işlemi gerçekleştirilir. Numune çıkarma işlemlerinde malzemede yapı değişikliğinin meydana gelmemesi için önlemler alınmalıdır. Uygun ebatlara sahip bir numune elle kolayca tutulabilir ve yüzey genişliği zımparaya oturacak kadar olmalıdır. Küçük ebatlı parçalardan numune çıkartma işi Şekil 5.28 'de gösterilen numune kesme tezgahları ile yapılır, ancak incelenecek olan parça boyutları büyüdükçe talaşlı imalat yöntemlerinden de faydalanılabilir.

Yaptığımız çalışmada ise içyapılarını inceleyecek olduğumuz parçalara ait numuneler, testere ve planya tezgahlarında 20x20x20mm ölçülerinde kesilmek suretiyle hazırlanmışlardır.



Şekil 5.27: Metalografik muayene numuneleri

Talaşlı imalat yöntemleri ile hazırlanmış olduğumuz numuneler “numune kesme” makinasında 20x20x10mm boyutlarına kesilerek ikişer parçaya ayrılmışlardır. Bu numunelerin birer parçası kimyasal analiz için ikincileri ise metalografik muayenede kullanılmışlardır.



Şekil 5.28: Numune kesme makinası



Şekil 5.29: Numune kesme makinası kabini

Numune kesme makinasında kesilen parçaların son hali Şekil 5.30’da görülmektedir.

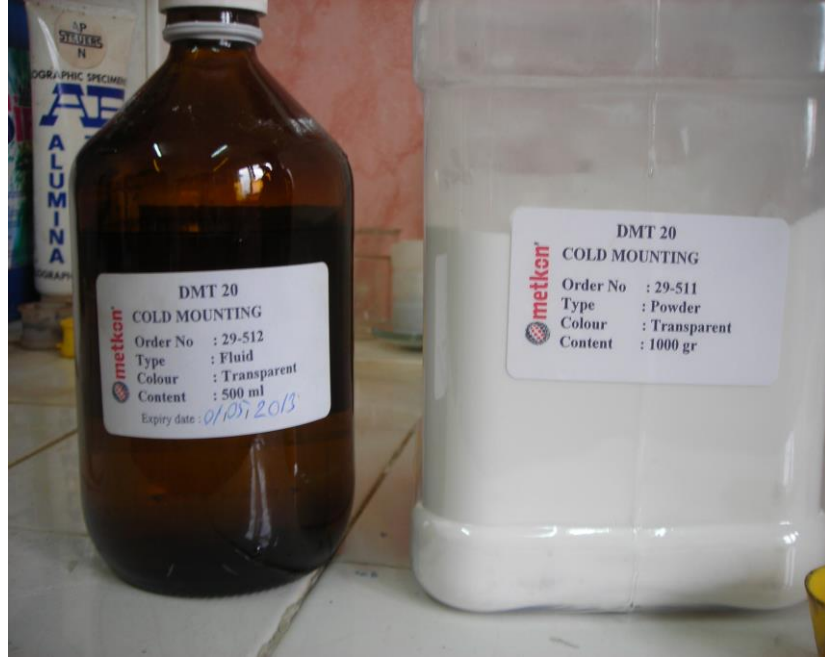


Şekil 5.30: Numunelerin son hali (20x20x10mm)

Numunelerin Kalıplanması (Bakalite veya polyestere alma); Küçük ebatlı ve çabuk aşınan numunelerin düzgün (yüzeye paralel) bir şekilde zımparalanması ve mikroskop üzerine yerleştirilebilmesi için bakalit veya polyester kalıba alma işlemidir. Bu işlem, soğuk ve sıcak kalıplama olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.

Sıcak kalıplama işleminde; Numune yüzeyi kalıp yüzeyi ile temas edecek şekilde kalıplama makinesinin haznesine yerleştirilir ve üzerine yeteri kadar termoset bir polimerik toz dökülür, kalıbın ağzı kapatılır ve yük uygulanarak basınç altında 150- 160°C’de pişirilir. Bu işlemde, tam pişmenin sağlanması (polimerizasyon) çok önemlidir [15].

Yapmış olduğumuz çalışmada, numune kesme cihazında istenilen boyutlara getirmiş olduğumuz numune parçalarımız, uygun boyutlardaki kalıbın içerisine konulmuş ve dışarıda “DMT20 toz ve sıvı” kalıplama malzemeleri ile hazırlanmış olduğumuz karışımın kalıp içerisine dökülmesi ile katılaşması beklenmiş ve yaklaşık 3 saatlik bir bekleme süresi sonunda katılaştıran malzemeler kalıp içerisinden çıkartılmıştır. Yapılan bu işlem, bir soğuk kalıplama işlemidir.



Şekil 5.31: Kalıba alma işleminde kullanılan malzemeler



Şekil 5.32: Numune kalıpları

Şekil 5.33’ de, kalıplanmış olan numue parçaların son durumları görülmektedir.



Şekil 5.33: Kalıplanmış numuneler

Zımparalama; Numune hazırlamanın önemli bir kademesidir. Kesme işlemi dikkatsiz bir şekilde yapılsa da iyi bir zımparalama ile yüzey hatalarının büyük kısmı giderilebilir. Numune yüzeyinde kesme işlemlerinden dolayı bir miktar deformasyon bulunur. Bu deformasyon zımparalama ve kademelerinde minimuma indirilir.

Numune yüzeylerinin zımparalama işlemleri parlatma tezgahı adı verilen tezgahlarda gerçekleştirilir. Zımparalar üzerlerindeki birim alana düşen aşındırıcı miktarına göre adlandırılır. Örnek olarak, üzerinde birim alanda 80 tane aşındırıcı partikül bulunan zımpara 80 numara, 1200 adet aşındırıcı partikül bulunan zımparalar ise 1200 numara zımpara olarak tanımlanır. Dolayısı ile 1200 numaralı zımpara çok daha ince zımparadır ve işlemin sonlarında kullanılır. Her zımpara işlemi bir önceki zımparanın izlerinin silinmesi amacıyla yapılır.

Yapmış olduğumuz çalışmada ise, kalıba almış olduğumuz numunelerimiz sırasıyla; P60 D (kalın dişli), P240 A, P500 ve son olarak da P1200 (ince dişli) zımparalarla malzeme yüzeylerinde çizik kalmayacak şekilde hassas olarak zımparalanmışlardır [15].



Şekil 5.34: Kullanılan zımparalar



Şekil 5.35: Zımparalama işlemi

Parlatma: Parlatma işleminin temel amacı, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak suretiyle, ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde etmektir. Parlatma işlemi ile de; son zımparalama işlemi sırasında yüzeyde bırakılan izlerin yok edilmesi

hedeflenmektedir. Bu bakımdan, parlatma işleminde çok ince (0,01-1 μ m) alumina tozu (Al_2O_3) aşındırıcılar kullanılmaktadır. En son ince zımparadan sonra keçe üzerine dökülen aşındırıcı (çoğunlukla elmas olarak adlandırılır) ile numune parlatılır. Parlatma işlemi sert parçalarda yüksek devir, yumuşak parçalarda ise düşük devir seçilerek yapılır [19].

İyi bir zımparalama işlemi için, işlemin en başından itibaren yapılacak uygulama kontrollü olmalıdır. Hafif bir basınç yeterli olmayabilir. Genellikle orta veya yüksek basınç uygulanmaktadır. Elle yapılan zımparalamalarda numunenin her tarafına eşit basınç uygulanmalı ve numune yüzeyinin zımparadan kalkması önlenmelidir. Her bir kademedan sonra numune iyice yıkanmalıdır. Böylelikle numune yüzeyinde kalmış olabilecek kaba zımpara partiküllerinin daha ince kademelere taşınması önlenir.



Şekil 5.36: Parlatma solisyonları

Çalışmamızda ise; zımparalamış olduğumuz numunelerimiz, önce 1 μ m'lik alüminyum solisyonu ile zımpara makinası üzerinde parlatma işlemine tabi tutulmuş daha sonra ise 0,3 μ m'lik alüminyum solisyonu ile zımpara makinası üzerinde parlatma işlemi yapılarak, numune yüzeylerinin tamamen parlak ve temiz bir duruma gelmesine dek işlem devam ettirilmiştir. Parlatma işleminden sonra ise numune yüzeyleri saf su ile temizlenmiştir.



Şekil 5.37: Parlatma işleminin yapılışı

Dağlama: Metalin mikro yapısını mikroskopta görünür hale getirebilmek için dağlama işlemi yapılır. Dağlayıcılar incelenerek numunenin malzemesine göre alkol, saf su, gliserin, asit gibi malzemelerin karışımından elde edilir. Dağlama süresi muayene ve dağlayıcıya bağlı olarak değişir. Dağlama işleminden sonra kullanılan dağlayıcıya bağlı olarak numune yüzeyi ya su, ya da etil alkol dökülüp kurutulur. Eğer mikroskopta detaylar görünmüyorsa numune biraz daha dağlanmalıdır.

Çalışmamızda ise; dağlayıcı olarak nitrik asit ve saf alkol kullanılmıştır. Malzeme analiz sonuçlarımıza göre dağlama solisyonumuz %5 nitrik asit ve % 95 saf alkol karışımından hazırlanmıştır. Hazırlanan solisyon zımpara makinasında parlatılmış olan numune yüzeylerine sürülerek bekletilmiş ve daha sonra saf su ile yıkanarak yüzeyler temizlenmiştir. Numune yüzeylerinde ıslaklık kalmaması için numunelerimiz, saç kurutma makinası ile tamamen kurutularak muayeneye hazır hale getirilmişlerdir.

Muayene: Malzeme içyapısının incelenmesinde optik mikroskoplar kullanılır. Bir optik mikroskop; objektif, oküler ve aydınlatma sisteminden oluşur. Büyütme miktarı objektif ve okülerin büyütme değerlerinin çarpımı ile bulunur.

Metal mikroskop ile numunedeki fazların özellikleri, dağılımları, tane sınırları, porozite, kalıntı ve çatlaklar gibi çeşitli yapılar incelenir. Stereo mikroskop ile numunenin bir bölgesi veya tamamı daha düşük büyütme oranları ile incelenerek numunede imalat yöntemi ile meydana gelmiş (ısı tesiri bölgeleri, yönlenmeler, katmerler) olan yapısal değişiklikler, çeşitli makro hatalar (çatlak, gözenek, boşluk, cüruf kalıntısı vs.) incelenir. Aşağıda şekilde numunelerimize yapmış olduğumuz metalografik inceleme resimleri görülmektedir.

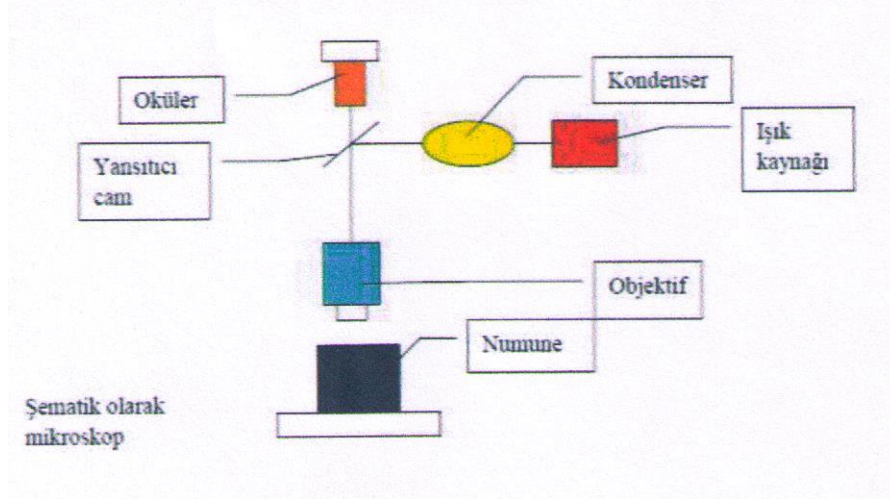


Şekil 5.38: Metal mikroskobu



Şekil 5.39: Metal mikroskobunda inceleme

Optik mikroskoplar, bir ışık kaynağının yaydığı ışığı belli ölçüde yoğunlaştırarak numunenin üzerine gönderirler. Numune geri yansıyan ışık hüzmesi (Aşınmayan kısımlardan dik, aşınan kısımlardan belli açılarla yansımaktadır) önce bir objektif tarafından toplanır, ardından bir oküler tarafından toplanır. Oküler üzerinden bakarak gördüğümüz görüntünün büyüklüğü objektif ve oküler büyütme değerlerinin çarpımıdır.

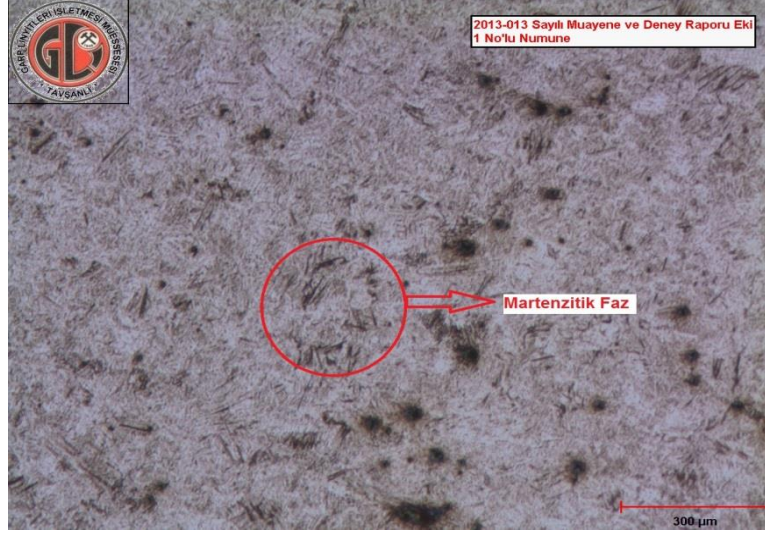


Şekil 5.40: Şematik olarak mikroskop

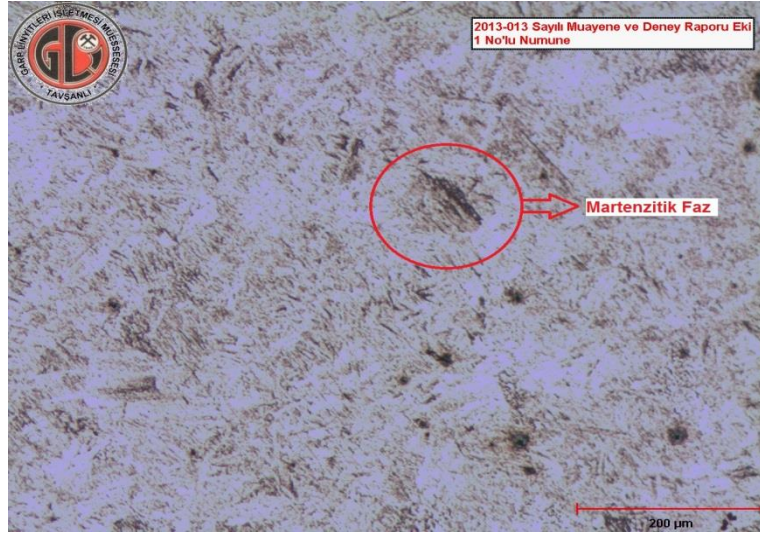
Objektifler, tek başlarına belli bir büyütme değerine sahiptirler. Buna “ön büyütme” değeri denilir. Bu değer objektif üzerinde, ardına bir X işareti konularak belirtilir. (20X, 100X gibi). Bazı objektiflerde ise rakamın önüne M harfi konulmaktadır. (M40, M10 gibi). Oküler objektifin büyütme değeri çarpımı mikroskopun toplam büyütme değerini vermekle beraber, bu değer, mikroskop tüpünün uzunluğuna, yani objektif ve okülerin birbirine olan mesafesine de bağlıdır. Genellikle tüm mikroskoplar 160-250 mm tüp mesafesindedir.

Çalışmamızda; Nikon Optiphut marka mikroskop ve Clemex yazılım kullanılmıştır. Numuneler sırasıyla 50X, 100X ve 200X optik büyültmeler kullanılarak incelenmiş ve mikroskopta sabitlenmiş olan görüntülerin fotoğrafları çekilerek bağlı olduğu bilgisayara kaydedilmiştir.

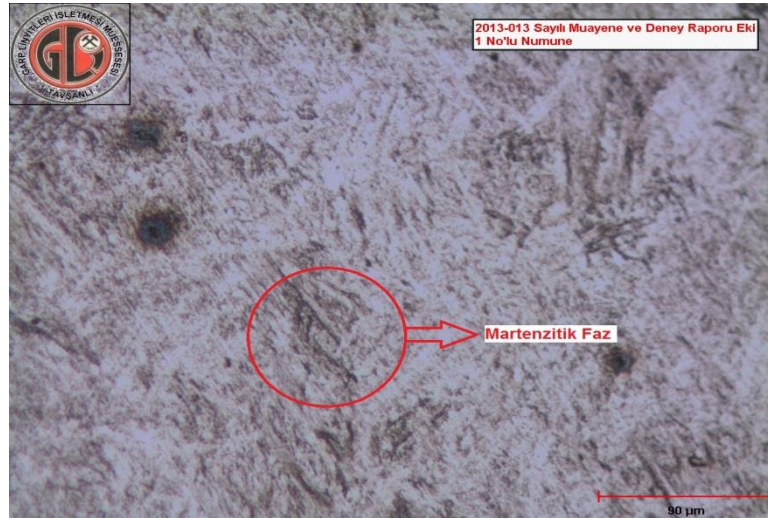
Aşağıdaki resimlerde, her numune için farklı 3 optik büyütme (50X, 100X, 200X) yapılarak elde edilmiş olan içyapı fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.41: 1 No'lu numune (50X)



Şekil 5.42: 1 No'lu numune (100X)



Şekil 5.43: 1 No'lu numune (200X)



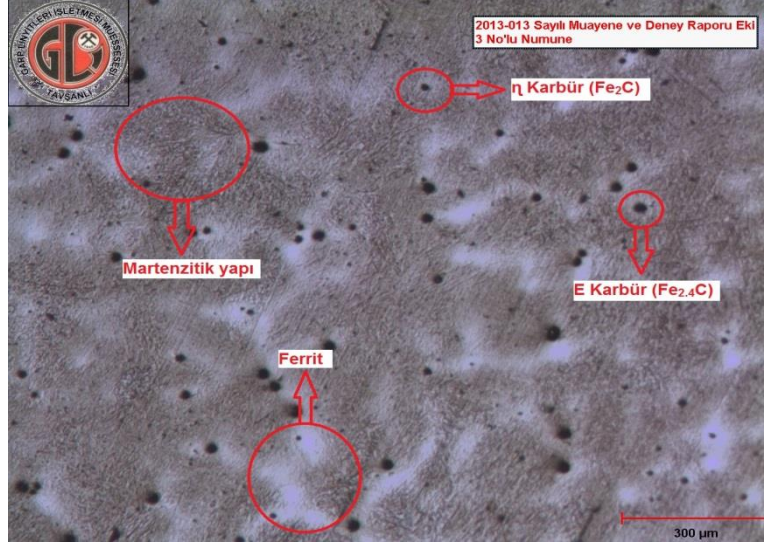
Şekil 5.44: 2 No'lu numune (50X)



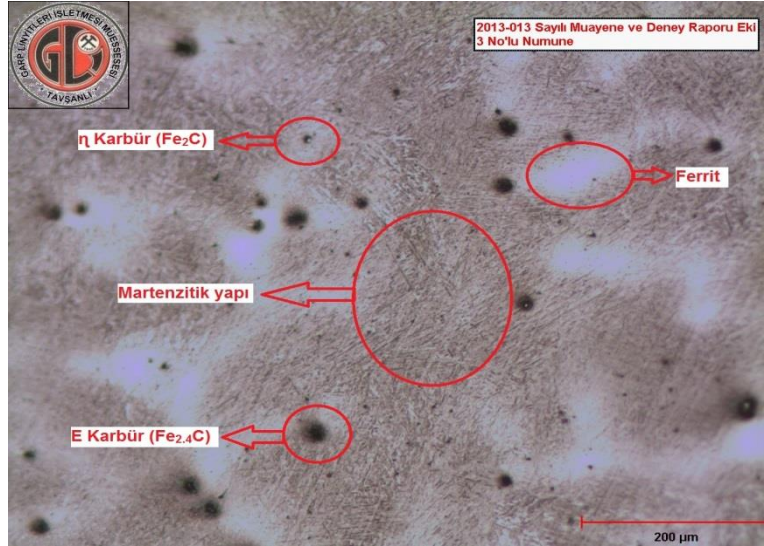
Şekil 5.45: 2 No'lu numune (100X)



Şekil 5.46: 2 No'lu numune (200X)



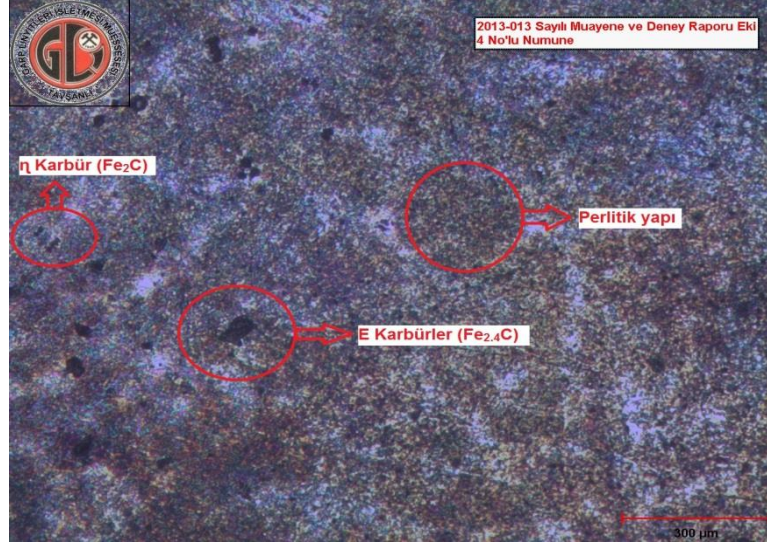
Şekil 5.47: 3 No'lu numune (50X) - Su - 200°C temper



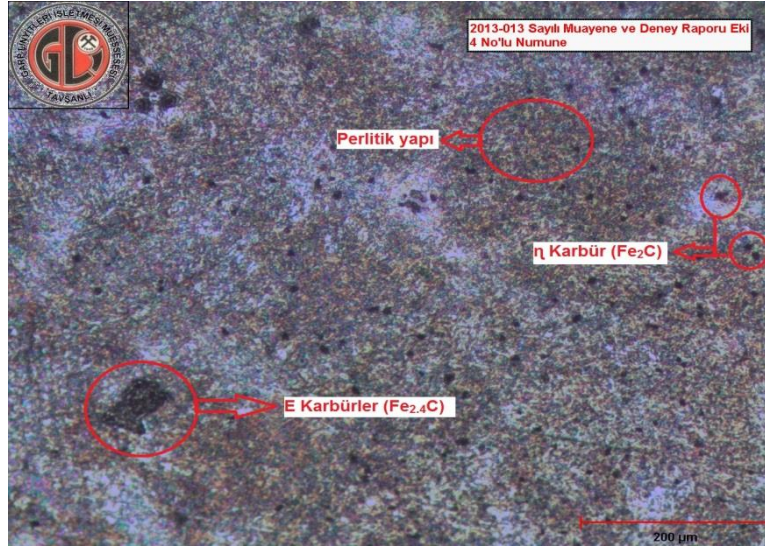
Şekil 5.48: 3 No'lu numune (100X) - Su - 200°C temper



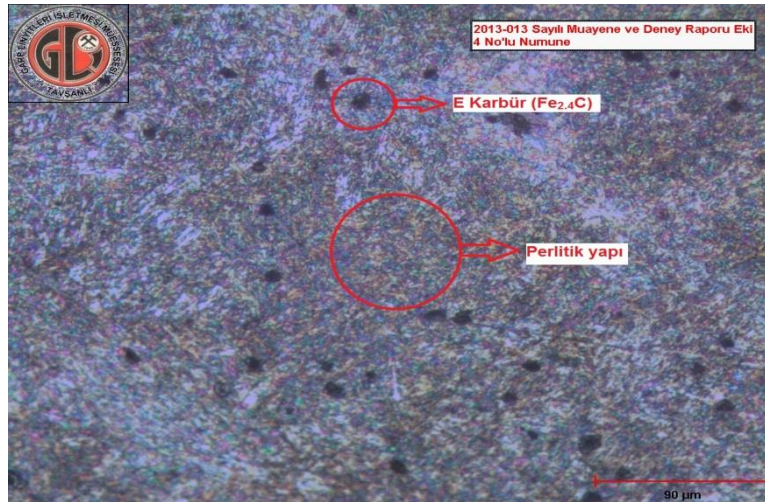
Şekil 5.49: 3 No'lu numune (200X) - Su - 200°C temper



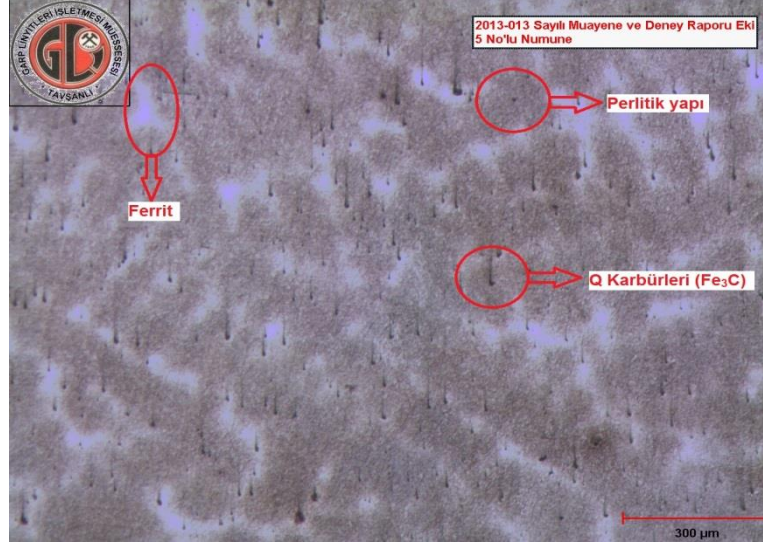
Şekil 5.50: 4 No'lu numune (50X) - Yağ - 200°C temper



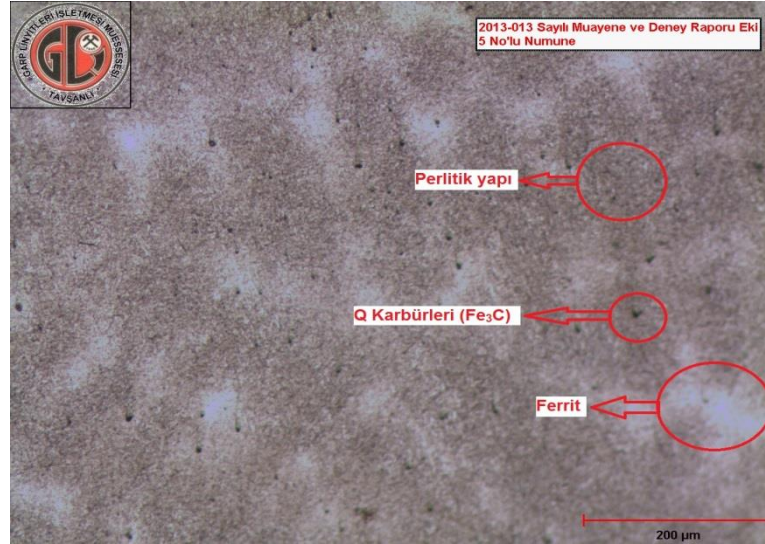
Şekil 5.51: 4 No'lu numune (100X) - Yağ - 200°C temper



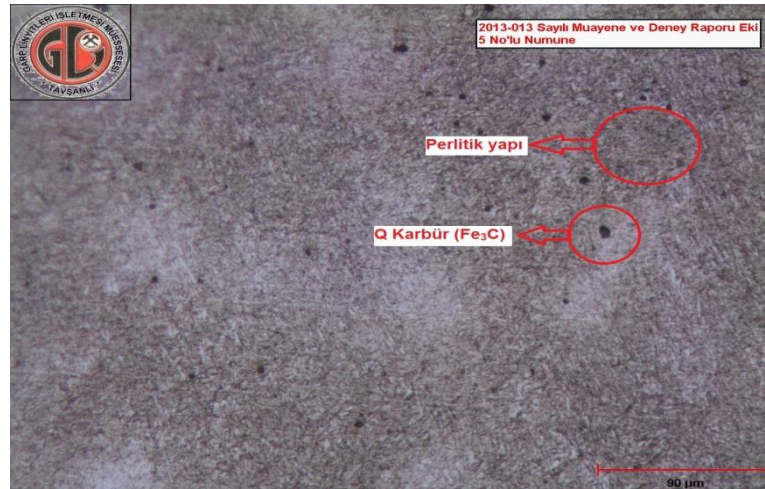
Şekil 5.52: 4 No'lu numune (200X) - Yağ - 200°C temper



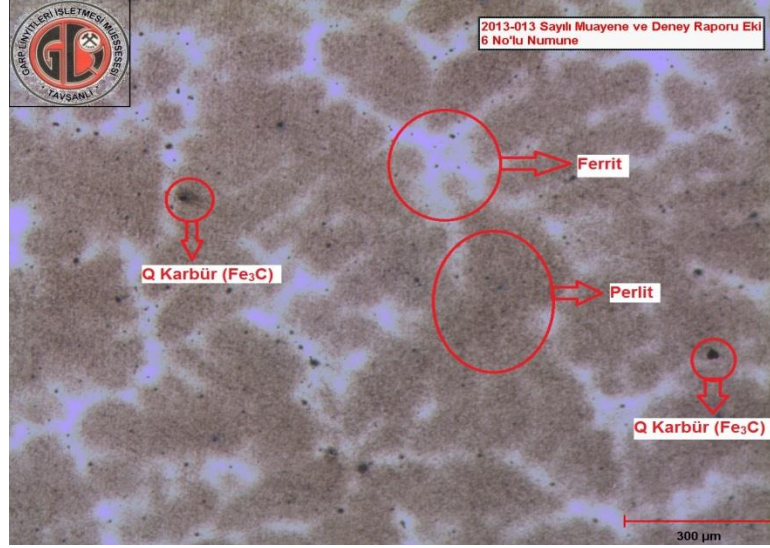
Şekil 5.53: 5 No'lu numune (50X) - Su - 400°C temper



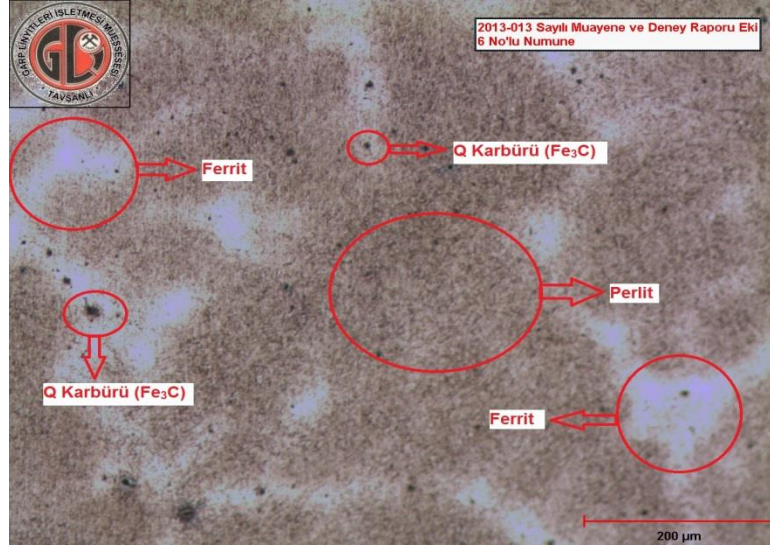
Şekil 5.54: 5 No'lu numune (100X) - Su - 400°C temper



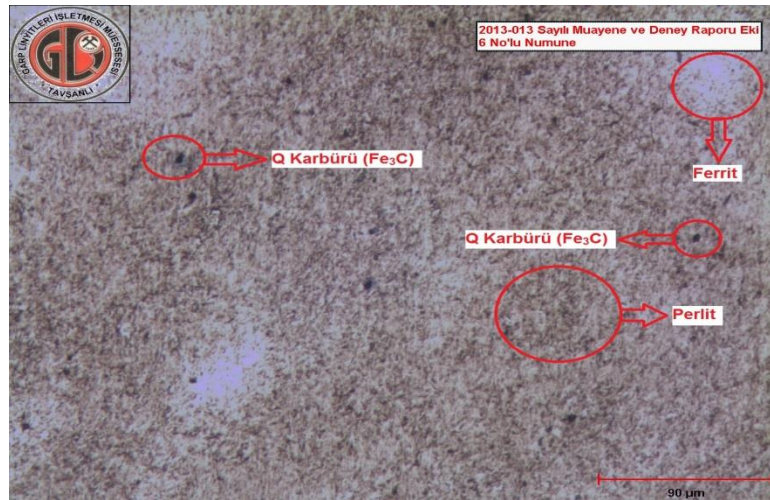
Şekil 5.55: 5 No'lu numune (200X) - Su - 400°C temper



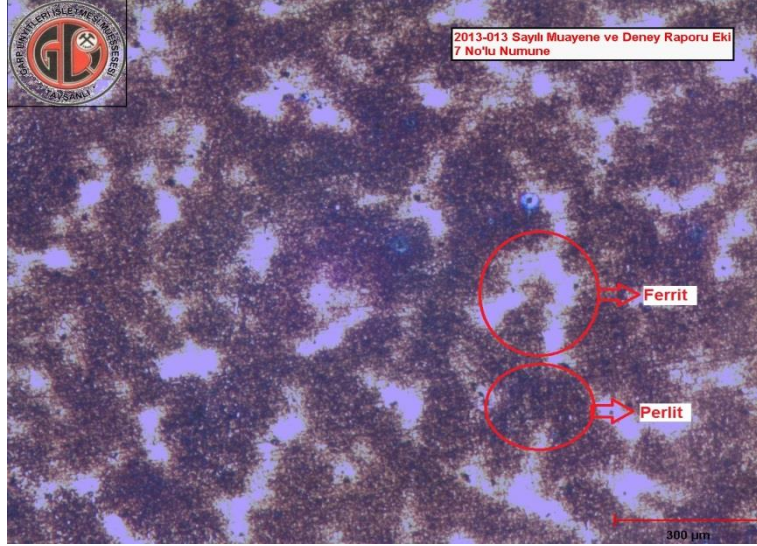
Şekil 5.56: 6 No'lu numune (50X) - Yağ - 400°C temper



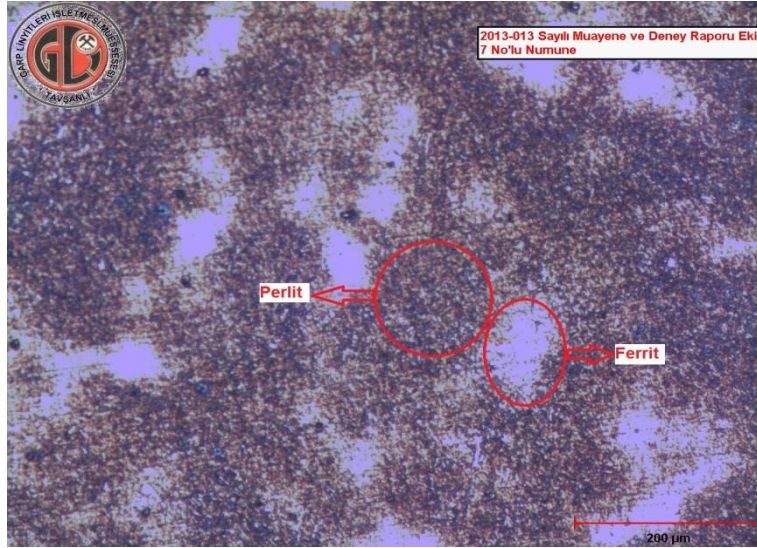
Şekil 5.57: 6 No'lu numune (100X) - Yağ - 400°C temper



Şekil 5.58: 6 No'lu numune (200X) - Yağ - 400°C temper



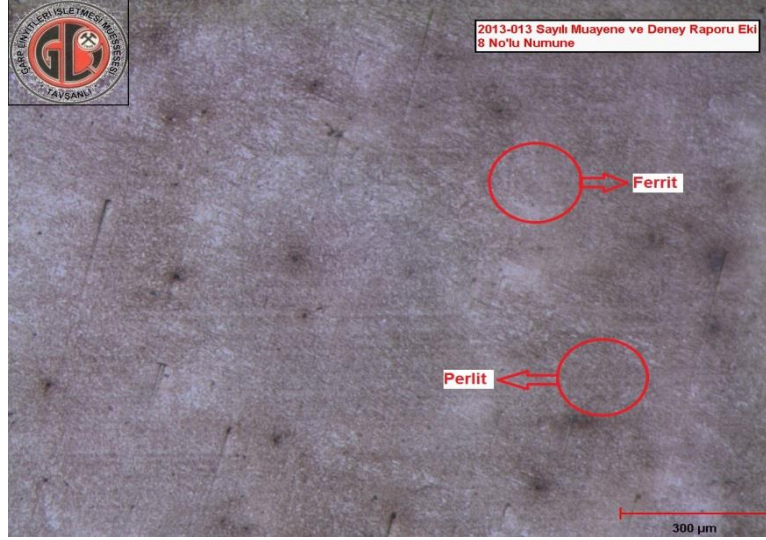
Şekil 5.59: 7 No'lu numune (50X) - Su - 600°C temper



Şekil 5.60: 7 No'lu numune (100X) - Su - 600°C temper



Şekil 5.61: 7 No'lu numune (200X) - Su - 600°C temper



Şekil 5.62: 8 No'lu numune (50X) - Yağ - 600°C temper



Şekil 5.63: 8 No'lu numune (100X) - Yağ - 600°C temper



Şekil 5.64: 8 No'lu numune (200X) - Yağ - 600°C temper

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Orijinal kimyasal kompozisyonda hazırlamış olduğumuz 6 adet numune parça, 880 °C sıcaklıkta tav fırınında 30'ar dakika bekletildikten sonra, numune parçaların 3 tanesi su ortamında, 3 tanesine de yağ ortamında olmak üzere su verme işlemine tabi tutulmuş ve farklı ortamlarda su verilmiş olan numuneler bu işlemde sonra 210°C, 400°C ve 600°C sıcaklıklarda 1'er saat temperlenerek farklı içyapılar oluşturulmuştur. Mekanik özelliklerinin tayini için numuneler, çekme deneyine tabi tutulmuş ve metal mikroskobu ile de metalografik içyapı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde;

1 Numaralı numunenin yapılan içyapı incelemesinde; yapıda martenzitik faz olduğu gözlenmiş olup, bu yapının östenitin ani olarak soğutulması ile elde edilen iğnesel ve içgerilimleri yüksek sert bir yapı olduğunu biliyoruz. Buna karşın mekanik çekme deneyi sonucundan da göreceğimiz gibi süneklik ve tokluk değerleri ile direkt ilişkili olan kopma uzaması değeri % 4,4 ile en düşük seviyede olduğu görülmüş ve 560 HB ile yüksek bir sertlik değeri ölçülmüştür.

2 Numaralı numunenin içyapı incelemesinde ise; içyapıda, ferrit ve perlit yapılarının bulunduğu gözlenmiştir. Yapıdaki ferritin çok yumuşak bir yapı olması ve yapıdaki dağılım oranının fazlalığından dolayı, bünyedeki perlitin varlığına rağmen, malzeme sertliğini düşürmüş (385 HB) ve buna karşın sünekliğin ise gereğinden fazla artmasına sebep olmuş ve çekme deneyi sonucunda %39,66 ile en yüksek kesit daralması değeri saptanmıştır.

3 Numaralı numunenin içyapı incelemesinde, martenzitik yapı ve ferritik yapılar gözlenmiş olup, bu yapıların yanında altıgen prizma kristalli geçici, ϵ -karbür ($Fe_{2,4}C$) ve ortorombik kristalli η -karbür (Fe_2C) oluşumlarına rastlanmıştır. Gözlenen bu yapılar sertlikte belirgin bir artış meydana getirmiş ve 620 HB olarak en yüksek sertlik değeri ölçülürken, buna bağlı olarak % 9,06'lık bir değerle de düşük bir kesit daralması tespit edilmiştir.

4 Numaralı numunenin içyapısında ise; perlitik yapı içerisinde geçici ϵ -karbür ($Fe_{2,4}C$) ve η -karbür (Fe_2C) oluşumları gözlenmiştir. Menevişleme işlemi esnasında martenzitten dışarı atılan karbon atomlarının çevrede bulunan Fe atomları ile birleşerek çökelediği ve demir karbür bileşiklerinin bu şekilde oluştuğunu düşünülmektedir. En yüksek çekme ($1709 N/mm^2$) ve akma ($1372 N/mm^2$)

değerlerinin elde edildiği numunede 545 HB sertlik elde edilmiş bununla birlikte % 6,62 kopma ve % 8,55 kesit daralması değerleri tespit edilmiştir.

5 Numaralı numunenin içyapı incelemesinde; yine 4 Numaralı numunede olduğu gibi perlitik yapı içerisinde karbür (Fe_3C) oluşumları gözlenmiş, temperleme sıcaklığının artışına bağlı olarak çekme, akma ve sertlik değerinde belirgin bir biçimde düşüş gözlenirken (480 HB), bunlara bağlı olarak % kesit daralmasında da % 15,69 'luk bir değerle belirgin bir artış gözlenmiştir.

6 Numaralı numunenin içyapısında ise; Bu defa perlitik yapı içerisinde bulunan karbür (Fe_3C) oluşumlarının yanında ferritik yapı da görülmekte olup, martenzitten dışarı atılarak karbür oluşumuna sebep olan karbonun, martenzit içinde kalan kısmı ise kristal yapısını küpe dönüştürerek ferritik bir yapı oluşturarak içyapıda yer almıştır. Bu durum kesit daralması değerini % 18,10 değerine kadar yükseltmişse de yapıdaki perlit ve karbür oluşumları sertliğin 510 HB olmasına sebep olmuştur.

7 Numaralı numunenin içyapı incelemesinde ise; tamamen perlitik bir yapıya yakın bir içyapı elde edilmiş, bu durum malzemedeki sertlik değerinin yüksek (480 HB) kalmasının yanında, numunenin içerdiği düşük ferrit oranı ile de süneklik ve tokluk değerlerinin aşırı düşmesine engel olmuş, %15'lik bir kesit daralması değeri ile de hedeflenen bir içyapı oluşturduğu görülmüştür.

8 Numaralı numunenin içyapı incelemesinde ise; östenitleme sonucu oluşan yapının ani soğutulması ile meydana gelen ferrit+perlit yapısının içyapıda bulunan oranları nispetinde bir taraftan sertliği belirgin bir biçimde düşürmüş olmalarına karşın (375 HB), süneklik ve tokluk değerini ise oldukça fazla bir biçimde arttırarak, %28,31'lik kesit daralması değeri ile de oldukça sünek bir yapı oluşmasına sebep olduğu görülmüştür.

Farklı ısı işlemlere tabi tutulmuş numunelerden elde edilmiş olan deney sonuçları karşılaştırılarak irdelendiğinde, elde edilen sonuçlar arasındaki farklar ısı işlem sonucunda malzemedeki meydana gelen yapısal değişimlere dayanılarak açıklanabilir. Sonuçta; farklı ısı işlemlerin çeliklerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri açıkça görülmüştür.

Üzerinde çalıştığımız yeni kepçe dişi kimyasal bileşimindeki numunelerimiz üzerinde yapılan su verme işlemleri sonucunda, çeliklerin içyapılarında meydana gelen martenzitten dolayı yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

Numunelere uygulanan farklı temperleme sıcaklıkları sonucunda ise; temperleme sıcaklığının artmasıyla, sertlik değerlerinde de belirgin olarak düşüşlerin meydana geldiği görülmüştür.

Çalışmamızın başında da belirttiğimiz gibi kepçe dişlerinin çalışma ortamlarında maruz kaldıkları koşullar göz önüne alındığında, kepçe diş malzemelerinden beklenen özelliklerin başında;

- Yüksek mukavemet ve tokluk değerleri ile
- Aşınma dayanımını arttırmak için yüksek sertlik

değerlerinin geldiği bilinmektedir.

Ancak bununla birlikte; Söz konusu bu değerlerden birinin tek başına artırılması, malzemede aranılan diğer mekanik özellikte belirli bir oranda düşüşe sebep olacağı için, daima istenilen mekanik özelliklerin, optimum bir noktada buluşturularak çalışma ortamı için hedeflenen kriterlerin gerçekleştirilmesine çalışılır.

Bu çalışmamızda da, çekme deneyinden ve sertlik ölçüm sonuçlarından elde etmiş olduğumuz verileri değerlendirdiğimizde, orijinal kepçe dişindeki mekanik değerler hedeflenerek, bizim için yeterli olacağını düşündüğümüz, sertlik ve tokluk için esas olan kopma uzaması değerlerini optimum bir noktada buluşturduğumuzda;

7 No'lu numunede elde etmiş olduğumuz mekanik değerlerin, hedeflemiş olduğumuz malzeme performansı için yeterli olacağı kanaatine vardık.

Bu doğrultuda aynı kimyasal kompozisyon üzerine uygulanan ostenitleme işlemi ardından su ortamında su verilerek, sonrasında oluşturulan martenzitik yapının 600°C 'de temperlenmesi ile çalışmamızın sürdürülmesine karar verdik.

Almış olduğumuz bu karar doğrultusunda; döküm ve uyguladığımız ısı işlemler sonucu, 1 makine için gerekli olan 6 adet (1 takım) kepçe dişi imalatını gerçekleştirdik.

Şekil 6.1’de orijinal kepçe dişi kimyasal kompozisyonunda, belirlemiş olduğumuz ısıl işlem prosedürü doğrultusunda, imalatını gerçekleştirmiş olduğumuz kepçe dişleri görülmektedir.



Şekil 6.1: Orijinal diş yapısında üretilmiş kepçe dişleri

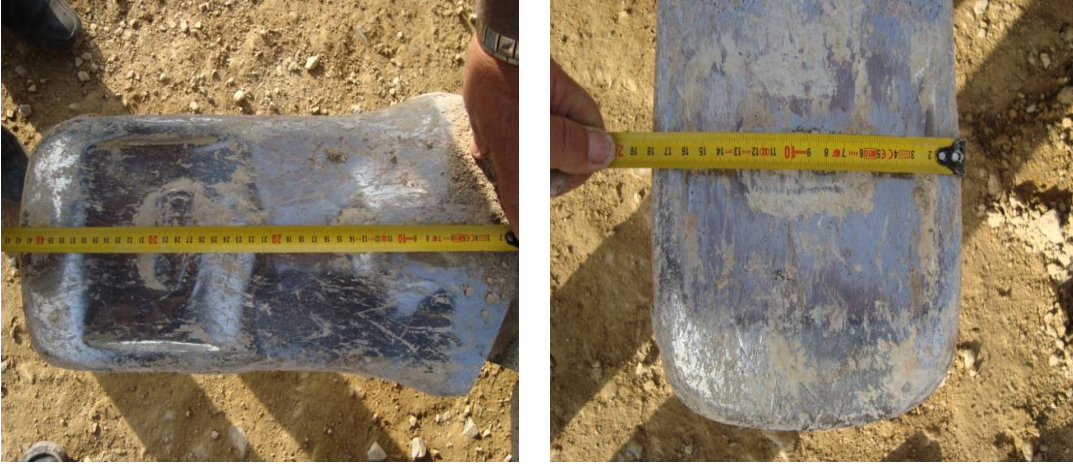
İmalatını gerçekleştirmiş olduğumuz kepçe dişleri 13.10.2012 tarihinde 8 Kapı numaralı 191 M Marion ekskavatore takılarak çalışma performansları izlenmeye başlanmıştır.

Şekil 6.2’de kepçe dişlerinin makine kepçesi üzerinde montajlı durumları görülmektedir.



Şekil 6.2: Kepçe dişlerinin makine üzerindeki montajlı durumu

12.06.2013 tarihinde, 1100 saatlik bir çalışma süresi sonunda kepçe dişleri üzerinde yapmış olduğumuz incelemelerde, daha önceki kepçe dişlerinde meydana gelen çatlama ve kırılma problemlerinin olmadığı ve sürtünmeden kaynaklı aşınmaların ise yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Söz konusu kepçe dişleri hala aynı makine üzerinde sorunsuz olarak çalışmakta olup, performansları sürekli olarak izlenmektedir.



Şekil 6.3: Kepçe dişlerinin makina üzerinde incelenmesi

7.GENEL SONUÇLAR

Yeni dökürerek ısıt işlem uygulamış olduğumuz keepçe dişi malzemelerinde;

1- Suverme işlemi sonunda;

a) En fazla sertlik değeri su verme ortamı olarak suyun kullanıldığı ve 210°C’de temperlenmiş olan 3 No’lu numunede elde edilmiş,

b) En düşük sertlik değeri ise, yağ ortamında su verilerek 600°C’de temperlenmiş olan 8 No’lu numune parçada tespit edilmiştir.

2- Çekme deneyi sonucunda;

a) En sünek, en tok ve % kesit daralmasının en yüksek olduğu değerler, yağ ortamında su verilerek 600°C’de temperlenmiş olan numunede elde edilmiş,

b) En düşük kesit daralması değeri ise, yağ ortamında su verilerek 210°C sıcaklıkta temperlenmiş olan 4 No’lu numune parçada tespit edilmiştir.

Max çekme mukavemet değerlerinin, temperleme sıcaklıklarının artmasıyla düştüğü gözlenmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki, “yüksek temper sıcaklığı, malzemeyi çok tok yapar” düşüncesi genelleme olarak algılanamaz.

3- Sertlik ölçümleri sonucunda;

a) Su ortamında sertleştirilen numunelerin düşük temper sıcaklığı uygulamasında yüksek sertlik değerleri elde edilmiş, temper sıcaklığı arttıkça sertlik değerlerinin azaldığı, fakat 400°C ve 600°C sıcaklıklarda aynı kaldıkları görülmüştür.

b) Yağ ortamında sertleştirilen numunelerde düşük temper sıcaklığı uygulamasında yüksek sertlik değerleri elde edilmiş, temper sıcaklığı arttıkça sertlik değerleri de azalmıştır. Buradan temperleme sıcaklığının malzeme sertliği üzerine olan etkisi açıkça görülmektedir.

4- Elimizdeki veriler dikkate alındığında orijinal numune sertlik değerimizi 440-465 HB sertlik değerleri arasında, % kesit daralması, % kopma uzaması ve max çekme mukavemet değerinin ise, ne en düşük ne de en yüksek değerler olmayacak şekilde esas aldığımızda en uygun performansı Tablo 5.9’da mekanik değerleri belirtilmiş olan 7 No’lu numune parçanın sağlayacağını düşünüyoruz.

Yine 7 No'lu numune parçanın yapılan metalografik yapı incelemesinde, tamamen perlitik yapıya yakın bir içyapı elde edilmiş, bu durum malzemenin sertliğinin yüksek kalmasına, içerdiği düşük ferrit oranı ile de süneklik ve tokluk değerlerinin aşırı düşmesine engel olmuştur. Bu durum, mekanik değerlerin paralelinde malzeme içyapısının da kepçe diş malzemelerinde aranan özelliklerde bir yapı olduğunu göstermiştir.

Tablo 5.9: 7 No'lu numune mekanik değerleri

ÇEKME DENEYİ NUMUNE NO	ÇEKME GERİLİMİ (Rm) N/mm ²	AKMA DAYANIMI (Rp0,2) N/mm ²	KOPMA UZAMASI (A) %	KESİT DARALMASI (Z) %	SU VERME ORTAMI	TEMPER SICAKLIĞI	SERTLİK HV 30
7	1402	1231	7,5	15,00	SU	600°C	480

5- Yerli üretim eski kepçe diş numunelerinin yapılan içyapı incelemelerinde yüksek oranda martenzit yapılar gözlenmiş olup, kepçe dişlerinin çok kısa süreler içinde kırılma sebeplerinin, malzemelerin gerilim giderme (menevişleme) işlemlerine tabi tutulmadığından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

6- Tezi sunduğum tarihe kadar, 1200 saat çalışmış olan yeni kepçe dişlerinde herhangi bir kırılma problemi yaşanmamış olup, bu haliyle, kullanmakta olduğumuz yerli üretim eski kepçe dişlerine oranla yaklaşık olarak % 300 oranında bir performans artışı elde edilmiştir. Malzemenin çalışma performansı izlenmeye devam edilmektedir.

Bundan sonra bu konuda çalışacak olan arkadaşlar, bu içyapı ve ısıl işlem şartlarına uyan malzemelerin kırılma davranışlarını inceleyebilirler.

8.KAYNAKLAR

- [1] Öcal, M. D., *Açık İşletmeciliğin El Kitabı*, Cilt I, Ankara: Güryılmaz, 143-144, (1979).
- [2] Tekin, E., *Çeliklerin Isıl İşlemleri Ders Notları*, Ankara: ODTÜ, 1-75, (1989).
- [3] MMO., *İş Makinaları El Kitabı*, Cilt III, Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 1-22, (2002).
- [4] Yüksel, M., *Malzeme Bilimleri Serisi*, Cilt I, Ankara: Özkan Matbaacılık, 6-20, (2003).
- [5] Marion, D., *191-M Mining Shovel Parts Book*, USA: Ohio, (1980).
- [6] Marion, D., *191M-II Maintenance and Operation*, USA: Ohio, (1980).
- [7] Harnischfeger., *P&H 2100 BL Electrotorque Shop Manual*, USA: milwaukee, wisconsin, (1980).
- [8] Harnischfeger., *P&H 2100 BL-E Electrotorque Parts Manual*, USA: milwaukee, wisconsin, (1980).
- [9] Güneş, İ., Ulu, S., Ayan, O., *Su Verilmiş Çeliklerde Temperleme Kademelerinin Aşınma Davranışına Etkisinin Araştırılması*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, (IATS'09), (2009).
- [10] Özdoğan, M., *Elektrikli Yerkazar Kepçeleri ve Başarımını Etkileyen Değiştirgenler*, Ankara: İdeal Makine, (2012).
- [11] Öz, M. A., *Ekskavatör Tamir Bakım Usta Yetiştirme Eğitimi*, Ankara: TKİ Eğitim ve İş Güvenliği Daire Başkanlığı, (1992).
- [12] Güventürk, F., *Çelik El Kitabı*, İzmir: Güvençelik Yayınları, (1990).
- [13] Autoren, C. Wegst, M., *Stahlschlüssel*, Marbach:Theodor Heuss Strasse, (2004).
- [14] Yüksel, M., *Malzeme Bilgisi*, Cilt1, Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, (2003).

- [15] Salman, S. ve Gülsoy H.Ö., *Metalografi Bilimi*, Ankara: Nobel Yayın Teknik Yayınları, (2004).
- [16] Topbaş, M. A., *Isıl İşlemler*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği, (1993).
- [17] Fernandez, J. E., Vijande, R., Tucho, R., Rodrigues, J. and Martin, A., “*Materials Selection to Excavator Teeth in Mining Industry*”, Elsevier, (250), 11-18, (2001).
- [18] Taylan, Z. ve Başkaya, M. C., *Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler*, Ankara: Gazi Üniversitesi, (2001).
- [19] Domke, W., Girardet W. E. *Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi*. (Çev: Gürleyik M. Y.), Trabzon, (1977).
- [20] *Islah Çelikleri*, Asil Çelik Teknik Yayınları, Gökçağ Matbaacılık, İstanbul, (2009).
- [21] *Çelik Türleri Kataloğu*, Makine Kimya Endüstrisi Kurumu, MKE Basımevi, (1978).
- [22] Aydın, M., Kepçe Dişlerinde Sert Dolgu Kaynağı Yapılarak Aşınmalarının İncelenmesi. Yüksek Lisans, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (1996).
- [23] Gülgen, İ. S., *İş Makineleri Tırnakları Üretiminde Kullanılan Az Alaşımli Çeliklerin Isıl İşlemi*. Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2008).
- [24] Güleç, Ş. ve Aran, A., *Malzeme Bilgisi I*. İTÜ, İstanbul, (1993).