

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
HARP SİLAH VE ARAÇLARI ANA BİLİM DALI
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**MARAGING ÇELİKLERİNİN ÜRETİM VE ISIL
İŞLEM SÜREÇLERİNDEKİ PARAMETRE
DEĞİŞİKLİKLERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FURKAN KELEŞTİMUR
1981022**

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SERDAR SALMAN

**ANKARA
NİSAN 2023**

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
HARP SİLAH VE ARAÇLARI ANA BİLİM DALI
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**MARAGING ÇELİKLERİNİN ÜRETİM VE ISIL
İŞLEM SÜREÇLERİNDEKİ PARAMETRE
DEĞİŞİKLİKLERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FURKAN KELEŞTİMUR
1981022**

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SERDAR SALMAN

**ANKARA
NİSAN 2023**

T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
HARP SİLAH VE ARAÇLARI ANABİLİM DALI
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

MARAGING ÇELİKLERİNİN ÜRETİM VE ISIL
İŞLEM SÜREÇLERİNDEKİ PARAMETRE
DEĞİŞİKLİKLERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN KELEŞTİMUR
1981022

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Nisan 2023

Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Mayıs 2023

Tez Oy birliği / Oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

	Unvan	Ad Soyad	İmza
Tez Danışmanı	Prof. Dr.	Serdar SALMAN	
Jüri Üyeleri	Prof.Dr.	Ahmet GÜRAL	
	Dr. Öğr. Üyesi	Onur ALTUNTAŞ	

ANKARA
NİSAN 2023

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Maraging Çelikleri, d) Materyal ve Metot e) Bulgular, f) Değerlendirme ve Öneriler kısımlarından oluşan toplam 69 sayfalık kısmına ilişkin 05/05/2023 tarihinde şahsım tarafından 'Turnitin' adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %15'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç,
- 2- Alıntılar dâhil,
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Furkan KELEŞTİMUR

ETİK BEYANI

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Alpaslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Furkan KELEŞTİMUR

28/04/2023

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Maraging çeliklerinin döküm teknolojileri, sıvama (flowforming) yöntemi ile sıvanması, ısıtım işlem süreçleri incelenmiştir. Sıvama ile farklı ezme oranlarındaki numunelere mekanik testler uygulanmış ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Üretim süreçlerindeki aşamaların ve farklı oranlardaki sıvama parametrelerinin mekanik özelliklere katkısı ve mikroyapıya olan etkisi değerlendirilmiştir. .

Bu kapsamda, çözeltiye alınmış olarak temin edilen Maraging 250 kalite çeliğe farklı ezme oranlarında sıvama ve yaşlandırma ısıtım işlemleri uygulanmış, uygulanan her işlem öncesi ve sonrası çekme ve sertlik testleri yapılarak mekanik özelliklerdeki değişimler izlenmiş, optik mikroskop ve SEM görüntüleri ile mikroyapılar incelenmiş, EDS ile çökelti oluşturan intermetalik bileşiklerin içerikleri analiz edilmiştir.

Bu süreç içerisinde yol göstermesi, bilgisi, tecrübesi ve hoşgörüsü ile her zaman desteğini gördüğüm değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Serdar SALMAN'a, deneysel çalışmalarda, malzeme tedarikinde ve mekanik test laboratuvarında yapılan çalışmalarda destek olan ROKETSAN A.Ş. çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte fedakârlık yapan, her zaman yanımda olan değerli eşim Özlem, çocuklarım Mete ve Neva'ya da teşekkür ederim.

Ankara, Nisan 2023

Furkan KELEŞTİMUR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU	
ETİK BEYANI	
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMA	xii
ÖZ	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. MARAGING ÇELİKLERİ	3
2.1. Maraging Çeliklerinin Mekanik Özellikleri	3
2.2. Maraging Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonu	4
2.3. Maraging Çeliğinin Isıl İşlemi	7
2.3.1. Çözeltiye Alma Tavlama	8
2.3.2. Yaşlandırma Isıl İşlemi	10
3. MALZEME VE METOT	14
3.1. VIM ve VAR Ergitme Teknolojileri	14
3.2. Boru Sıvama Prosesi (Flowforming)	17
3.3. Sertlik Testi	25
3.3.1. Brinell Sertlik Ölçüm Yöntemi	26
3.3.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi	27
3.3.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi	28
3.3.4. Mikro-Sertlik Deneyi	29
3.4. Çekme Testi	31
3.4.1. Video Ekstensometre	33
3.4.2. Çekme Test Kuponu	34
3.5. Mikroyapı İncelemeleri Ve Uygulamada Önemi	35
3.5.1. Taramalı Elektron Mikroskop(SEM) ve EDS Analizi	36
4. BULGULAR	38
4.1. Kimyasal Kompozisyon Analizi	38
4.2. Sertlik ve Sertleşebilirlik Testleri	39
4.3. Boru Sıvama	40
4.4. Yaşlandırma Isıl İşlemi	42
4.5. Çekme Testi	45

4.6. Mikroyapı İncelemeleri	50
4.6.1. Optik Mikroskop İncelemeleri	50
4.6.2. SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri	52
5. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER	69
KAYNAKÇA	71
ÖZGEÇMİŞ	74



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1:	820 °C'de Çözeltiye Alma Isıl İşlem Sonrası Kimyasal Bileşim Ve Özellikler .	5
Tablo 2.2:	Maraging Çeliklerinin Yaşlandırılması Sırasında Oluşan Çözelti Formları .	6
Tablo 3.1:	AMS 2759 / 3D ısıtım işlem prosesi parametreleri	17
Tablo 3.2:	Sıvama Parametreleri	20
Tablo 3.3:	Ürün Geometrisine Göre Farklı Malzeme Türlerine Ait Tek Pasoda Maksimum Ezme Oranı	24
Tablo 3.4:	Sertlik Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	30
Tablo 3.5:	Test Yöntemlerine Göre Batıcı Uç, Batma Şekli, Yük, Sertlik Formülasyonu.	30
Tablo 4.1:	İş Parçasının Kimyasal Kompozisyonu ile MIL-S-47319 standardı ile karşılaştırılması	39
Tablo 4.2:	Farklı Ezme Oranına Ait Kuponlara Ait Çekme Testi Değerleri	48
Tablo 4.3:	Maraging 250 Kalite Çelikte Ezme Oranlarına göre Ortalama Çekme, Akma Mukavemet Değerleri ve % uzamalar	49
Tablo 4.4:	Maraging 250 Kalite Çelikte çözeltiye alma sonrası ve farklı sürelerde yaşlandırma ısıtım işlemleri yapılan test kuponlarına ait Ortalama Çekme, Akma Mukavemet Değerleri ve % uzamalar	50
Tablo 4.5:	EDS analizi ile elde edilen elementlere ait % ağırlık.	58
Tablo 4.6:	EDS analizi ile elde edilen elementlere ait % ağırlık.	62
Tablo 4.7:	Farklı noktalara yapılan EDS Analizlerine Göre Tane İçlerindeki Elementlerin % Ağırlık Oranları	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Maraging Çeliklerinin Özellikleri .	7
Şekil 2.2:	Maraging Çeliklerinde Sıcaklık ve % Ni (Ağırlık) Faz Diyagramı .	8
Şekil 2.3:	Çözelti Tavlama Sıcaklığının 482 °C ve 3 Saatte Yaşlandırılan 200-250 Ve 300 Kalite Maraging Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi	9
Şekil 2.4:	815°C’ De 30 Dk Çözeltiye Alındıktan Sonra Yaşlandırma Sıcaklığının Dayanım Ve % Uzama Değerlerine Etkisi (Yaşlandırma Prosesi 3 Saat Sürmüştür.) .	10
Şekil 2.5:	250 Kalite Maraging Çeliğinin 815°C’ De 30 Dk Tavlandıktan Sonra 482 °C’ De Yapılan Yaşlandırma İşleminin Zamana Bağlı Olarak Dayanım Değerlerine Etkisi) .	11
Şekil 3.1:	Vakumda İndüksiyon Ergitme (VIM) prosesi	15
Şekil 3.2:	Vakumda ark ile yeniden ergitme (VAR) Prosesi	15
Şekil 3.3:	Maraging çeliklerinin ısıtma işlem ve işleme yöntemlerinin akış şeması	17
Şekil 3.4:	Şekillendirme Sırasında Etki Eden Kuvvetler	19
Şekil 3.5:	Flowforming Mekanizmasının Şematik Gösterimi	19
Şekil 3.6:	Sıvama Rölelerinin Pozisyonlarının Şematik Gösterimi	20
Şekil 3.7:	Sıvama Sırasında Paso Sayısına Göre Kademeli Olarak Et Kalınlığının Düşürülmesi	21
Şekil 3.8:	Flowforming Prosesinde Başlangıç Parçası ve Final Ürün ile Flowforming Ekipmanı	22
Şekil 3.9:	Sıvamanın Mekanik Özelliklere Ve Mikroyapıya Etkisi	23
Şekil 3.10:	Brinell Sertlik Testinde Kullanılan Uç	26
Şekil 3.11:	Rockwell Sertlik Deneyi.	27
Şekil 3.12:	Rockwell Sertlik Deneyi	28
Şekil 3.13:	Elmaz Piramit Uç ve Vickers İzi	29
Şekil 3.14:	Kuvvet & Uzama Grafiği	31
Şekil 3.15:	Düşük Karbonlu Bir Çeliğe Ait Çekme Diyagram	32
Şekil 3.16:	Video Ekstensometre	33
Şekil 3.17:	Metalik Malzemeler İçin Çekme Testi Standardı ASTM E8/E8M-09	34
Şekil 3.18:	Numune Hazırlama Adımları	36
Şekil 3.19:	Taramalı Elektron Mikroskopunun (SEM) Şematik Görüntüsü	37
Şekil 4.1:	Spektromax Cihazı	38
Şekil 4.2:	Wilson Sertlik Ölçüm Ekipmanı	40
Şekil 4.3:	Preform Malzemesi	40
Şekil 4.4:	Röle Sayısı ve Açıları	41
Şekil 4.5:	İleri ve Geri Boru Sıvama Prosesi	41
Şekil 4.6:	Sıvama Sonrası Boruya Ait Görsel	42
Şekil 4.7:	Isıl işleme Girerken Fırına ve Boruya Ait Görsel	43
Şekil 4.8:	Isıl İşlem Sonrası Boruya Ait Görsel	44
Şekil 4.9:	Uygulanan Isıl İşleme Ait Sıcaklık & Zaman Grafiği	45
Şekil 4.10:	Çekme Test Kuponlarının Çıkarıldığı Yerler	45
Şekil 4.11:	Instron 5985 Çekme Testi Ekipmanı.	46
Şekil 4.12:	Kuponlara Ait Çekme Gerilmesi& % uzama grafikleri	47

Şekil 4.13:	Çözeltiye alınan ve farklı sürelerde yaşlandırma ısı işlemi yapılan test kuponlarına ait Çekme Gerilmesi & % uzama grafiği	49
Şekil 4.14:	Çözündürme ve Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Optik Mikroskop İle Elde Edilen Görüntüler	51
Şekil 4.15:	Fry's Ayırıcı	52
Şekil 4.16:	Nova Nanosem 450	53
Şekil 4.17:	Yaşlandırma Sonrası SEM görüntüsü x1000.	54
Şekil 4.18:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x1000.	55
Şekil 4.19:	Yaşlandırma Sonrası SEM görüntüsü x5000	55
Şekil 4.20:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x5000	56
Şekil 4.21:	Yaşlandırma Sonrası 2. Faza ait SEM görüntüsü ve büyüklüğü x10000.	56
Şekil 4.22:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x10000.	57
Şekil 4.23:	Yaşlandırma Sonrası şekil 4.6 - 8 görülen 2. Faza ait EDS analizi.	57
Şekil 4.24:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x10000.	58
Şekil 4.25:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x20000.	59
Şekil 4.26:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x10000.	59
Şekil 4.27:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x20000.	60
Şekil 4.28:	Yaşlandırma Öncesi SEM görüntüleri x10000.	60
Şekil 4.29:	Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüleri x50000.	61
Şekil 4.30:	Şekil 4.29 da gösterilen kısma ait EDS Analizi.	61
Şekil 4.31:	Sıvama + Yaşlandırma Sonrası SEM Görüntüleri x10000.	62
Şekil 4.32:	Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P1) ait görüntü ve boyutu x10000	63
Şekil 4.33:	Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P1) ait görüntü ve boyutu x10000.	63
Şekil 4.34:	Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P3) ait görüntü ve boyutu x10000.	64
Şekil 4.35:	Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P3) ait görüntü ve boyutu x4000.	65
Şekil 4.36:	P1 e ait EDS Analizi.	66
Şekil 4.37:	P2' ye ait EDS Analizi.	66
Şekil 4.38:	P3'e ait EDS Analizi.	67
Şekil 4.39:	P4' e ait EDS Analizi.	67

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey Alanı
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
E	: Elastisite
F	: Kuvvet
Fe	: Demir
ΔL	: Gerilme Etkisi Altında Malzemenin Boyundaki Uzama
H	: Hidrojen
L_0	: Malzemenin İlk Boyu
Mo	: Molibden
N	: Azot
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
P	: Kuvvet
t	: Zaman
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
W	: Tungsten
σ	: Gerilme

KISALTMA

AMS	: Aerospace Materials Specifications (Havacılık Malzemeleri Özellikleri)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan test ve Malzemeler Topluluğu)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standardizasyon Enstitüsü)
EDS	: Enerji Dispersiv Spektrum (Enerji Dağılım Spetrumu)
HB	: Brinell Sertliği
HRC	: Rockwell Sertliği
HV	: Vickers Sertliği
MIL STD	: Military Standarts (Askeri Standartlar)
MPa	:Megapascal
RPM	: Revolutions Per Minute (Dakikadaki devir sayısı)
SEM	: Scanning Electrone Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopu)
VIM	: Vacuum injection melting (Vakum indüksiyon ergitme)
VAR	: Vacuum arc remelting (Vakumda ark ile yeniden ergitme)

ÖZ

Maraging Çeliklerinin Üretim Ve Isıl İşlem Süreçlerindeki Parametre Değişikliklerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Furkan KELEŞTİMUR

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik
Enstitüsü

Ankara, Nisan 2023

Bu tez çalışmasında çözeltiliye alınmış formda Maraging 250 kalite çeliğe sıvama (flowforming) yöntemi ile farklı oranlarında ezme işlemi uygulanarak et kalınlıkları düşürülmüştür. Sıvama işlemi sonrası yaşlandırma ısıl işlemi yapılmıştır. Ayrıca, çözeltiliye alma sonrası 482 °C de farklı sürelerde yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu işlemler öncesinde ve sonrasında malzemeye ait sertlik, çekme testleri yapılmış, optik mikroskop ve SEM ile mikroyapı incelenmiş ve mikroyapıda görülen intermetalik bileşikler EDS yöntemi ile analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, ezme oranının artması ile akma ve çekme mukavemetlerindeki artış deneysel olarak tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerdeki iyileşmenin temel etkeni yaşlandırma ısıl işlemi olduğu, ısıl işlem sonrası yapılan deneyler ile ortaya konulmuştur. Isıl işlem süresinin arttıkça mukavemetin düştüğü görülmüştür. Çekme ve akma mukavemetindeki artışın, tane içlerinde çökelen Mo ve Ti elementlerince zengin intermetalik bileşikler olduğu EDS yöntemi ile analiz edilmiştir. Sıvama sonrası, malzemenin akış yönünde tanelerin uzadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Maraging Çelikleri, Yaşlandırma ve Çözeltiliye Alma, Sıvama, SEM, EDS

Bilim Kodu : 91519

Sayfa Sayısı : 88

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Serdar SALMAN

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Parameter Changes in the Production and Heat Treatment Processes of Maraging Steels on Mechanical Properties

Furkan KELEŞTİMUR

National Defence University, Alparslan Defence Sciences and National Security
Institute

Ankara, April 2023

In this thesis, the thickness of the Maraging 250 steel in solution annealed form was reduced by applying different reduction rate using flowforming method. After flowforming, steel was aged. In addition, after solution annealing, steel was aged 482 °C in different times. Before and after these processes, the hardness and tensile tests of the material were applied. Microstructure was observed with optical microscope and SEM. Also, intermetallic compounds observed in the microstructure were analyzed by EDS method. As a result of rising reduction rate, increase in the tensile and yield strength have been experimentally determined. The experiments carried out after heat treatment and flowforming reveals that the main cause of the improvement in mechanical properties is the aging heat treatment. Also, it has been observed that as increasing aging time, tensile and yield strength decreases. It was analyzed by EDS method that the increase in tensile and yield strength was the result of intermetallic compounds which are Mo and Ti element rich precipitated in grains matrix. After flowforming, it was observed that the grains elongated in the flow direction of the material.

Keywords: Maraging Steel, Aging and Solution Annealing, Flowforming, SEM, EDS

Science Code : 91519

Pages : 88

Supervisor : Prof. Dr. Serdar SALMAN

1. GİRİŞ

Maraging çeliklerinin son yıllarda, ülkemizde başta savunma sanayi olmak üzere endüstride kullanımı artmıştır. Bu çelik, yüksek mukavemet ve tokluk isteyen havacılık parçalarında ve füze parçalarında kullanılmaktadır. Adında da anlaşılacağı gibi hem martensit yapıya sahip hemde çökelme sertleşmesi uygulanmış olan çeliklerdir. Düşük karbonlu ve yüksek mukavemetli çeliklerdir. Düşük karbonlu olması çeliğin kaynaklanabilirliğini iyileştirmektedir. Bunun yanında, soğuk deformasyon ile şekil değiştirme kabiliyetini de artırmaktadır. Yaşlandırma ısı işlemi sonrası martensit yapıda oluşan Ti, Mo içeriğince zengin intermetalik çökeltiiler sayesinde güçlü mekanik özelliklere sahiptir. Plastik deformasyon ile şekil değiştirmenin de mikroyapıya ve mekanik özelliklere katkısı bilinmektedir. Maraging çeliklerinin soğuk şekillendirme ve sonrasında yaşlandırma ısı işlemi proseslerinden geçmesi mekanik özellikleri istisnai bir noktaya taşımaktadır. Uygun mekanik özelliklere ulaşmanın yanı sıra, endüstride parçaların üretimlerinde ekonomik fayda sağlayacak üretim yöntemlerinin de önemi artmaktadır. Boru üretimlerinde, talaş kaldırmadan cidar azaltma presibine sahip sıvama(flowforming) üretim yöntemi yaygınlaşmaktadır. Ayrıca maraging çeliklerinin kaynaklanabilirliğinin yüksek olması ve martensit matris yapıda oluşan intermetalik çökeltiilerin mekanik özelliklere katkısından dolayı eklemeli imalat üretim yöntemi ile kompleks parçaların daha ekonomik bir şekilde üretilmesi yaygınlaşmaktadır.

Sıvama yöntemi, soğuk şekillendirme yöntemlerinden birisi olup içi boş silindirik geometrilerin üretilmesinde talaşlı imalat, ekstrüzyon, sıcak çekme gibi diğer üretim yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Maraging çeliklerinin ısı işlemleri temel olarak çözeltiye alma ve yaşlandırma ısı işlemlerinden oluşmaktadır. Yapılan bu yüksek lisans çalışmasında çözeltiye alınmış formda temin edilen Maraging 250 kalite çeliğin farklı oranlarda cidar azaltılması ve sonrasında uygulanan yaşlandırma ısı işlemlerinin mekanik özelliklere etkisi sertlik, çekme testleri ile değerlendirilmiş,

sıvamanın ve ısıt ışılemlerin mikroyapıya olan etkisi optik mikroskop, SEM görüntüleri ve EDS analizleri ile gözlemlenmiştir.



2. MARAGING ÇELİKLERİ

Maraging çeliği, son derece düşük karbon içeriğine ve yüksek mukavemete sahip bir çeliktir. Maraging kelimesi, İngilizce Martensite ve Age Hardening (yaşlandırma) kelimelerinin birleşimidir. Yüksek karbonlu çelikten ayıran en önemli özelliği ise tetragonal bir yapıdan ziyade hacim merkezli kübik yapıya sahip olmasıdır. Ayrıca düşük soğuma hızlarında bile martensitik bir yapı elde etmek mümkündür. Bunun başlıca sebebi ise içeriğindeki nikel oranının yüksek olmasıdır.

2.1. Maraging Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

Yaygın olarak kullanılan maraging çelikleri, esas olarak nikel, molibden, kobalt ve titanyum elementlerinden oluşan özel bir alaşımlı çeliktir. Maraging malzemelerinde en çok kullanılan kalite Grade 300 yani Maraging 300 malzemeleridir. Maraging 300 dâhil olmak üzere 4 yaygın maraging çeliği vardır. Bunlar Maraging 200, Maraging 250, Maraging 300, Maraging 350 ve 18Ni Maraging çeliği olarak da bilinen Maraging çelikleridir. Maraging adından sonraki 200, 250, 300 vb. rakamlar, sayı ne kadar büyükse malzeme o kadar güçlü olduğu anlayışıyla, malzemenin kırılma mukavemetini gösterir (Öndin, 2019).

Maraging çeliklerinin karbonu düşüktür. Düşük karbon içeriği sayesinde bu çelikler kolayca işlenebilir. Aynı zamanda çatlamadan ve kırılmadan büyük ölçüde soğuk şekillendirilebilir. Maraging çelikler ısıtılma işlemi sonrası az da olsa boyutsal değişime uğrayabilmektedir. Bu nedenle bu malzemelerin ısıtılma işlemi sonrası talaşlı imalat ile nihai hassas ölçüleri elde edilebilir. Yüksek alaşım oranı nedeniyle bu malzeme ısıtılma işlemi sonrası yüksek sertliğe yükseltilebilir. Maraging çelikleri genellikle ortalama korozyon direncine sahiptir ve artan korozyon direncinin gerekli olduğu uygulamalarda, korozyon direnci seviyesi kadmiyum kaplama veya çeşitli diğer kaplamalar ile artırılabilir.

Maraging 300, bu tür çelikler arasında en çok kullanılan alaşımlı çeliktir. Mekanik dayanımı çok yüksektir ve genellikle yüksek mekanik dayanım istenen yerlerde tercih edilir. Maraging 300 malzemesi genellikle uçak iniş takımı parçalarında, mekanik dayanım gerektiren uçak dişli parçalarında, yapısal dayanımın sabit olduğu ve çok yüksek mekanik dayanım istenen yerlerde kullanılmaktadır (Bir Çelik, 2022).

2.2. Maraging Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonu

Maraging çelikleri, 1950'lerde havacılık ve uzay endüstrisinin hafif malzeme ihtiyacını ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı (250 °C – 300 °C) malzeme ihtiyacını karşılamak için geliştirilmiştir. Bu yeni çelik, nikel içeren çeliklere alüminyum (Al) ve titanyum (Ti) eklenmesinin sonucudur. 1960'larda maraging çeliklerinin bileşimine kobalt (Co) ve molibden (Mo) eklenmiştir. Bu eklemeler sonrası mekanik özelliklerin geliştirilmesi noktasında oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kısaca maraging çelikleri, düşük karbonlu demir-nikel martensitik matriste ikame elementler kullanılarak yaşlandırma sertleştirilmesi ile üretilen çeliklerdir. (Rigon ve ark. 2018).

Düşük karbon içeriği ve alaşımlama nedeniyle, maraging çeliği, yaşlandırma ısı işleminden sonra mekanik mukavemeti ve sertliği arttırmıştır. Tavlama adımı sırasında martensitik yapı yüksek tokluğa ve yumuşaklığa sahiptir. Bu durum daha sonra yaşlanma süreci ile değiştirilebilir. Martensitik yapının yumuşaklığından dolayı ara ısı işlem adımları olmadan soğuk şekillendirmeye olanak sağlar. Soğuk haddeme, sıvama, dövme prosesleri maraging çelikler için bir plastik şekillendirme tekniği olarak kullanılabilir. Soğuk şekillendirme sırasında dislokasyon yoğunluğunun artması çekme dayanımını ve akma noktasını artırır. Öte yandan, intermetalik bileşiklerin çökmesinin meydana geldiği yaşlanma süreci de mekanik özellikleri iyileştirir (Avesis Yıldız, 2022).

Tablo 2.1: 820 °C'de Çözeltiye Alma Isıl İşlem Sonrası Kimyasal Bileşim Ve Özellikler.

Alaşım	Kompozisyon (% ağırlık)					Özellikler			
18 Ni Maraging Çeliği (Seri)	Ni %	Mo %	Co %	Ti %	Al %	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Sertlik (HRC)
200	18	3- 3,5	8,5	0,2	0,1	~800	965-1000	17-18	28-30
250	18	~5	~7,75	0,4	0,1	750-900	1000-1140	8-16	28-35
300	18	~5	~9	0,6	0,1	760-900	1000-1170	6-15	30-32
350	18	4	12,5	1,6	0,1				

18% Nikel Maraging Çelikleri, (2022).

Demir-nikel martensit Co ve Mo ilavesinin yaşlandırma sertleşmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Co ve Mo ilavelerinin birleşik etkileri, bu elementlerin ayrı ayrı eklenmesiyle elde edilenlerden daha üstün sonuçlar gösterir. Ayrıca yaşlandırmada çok aktif olan titanyum (Ti) ve alüminyumun Fe-Ni-Co-Mo matrisine eklenmesiyle bir maraging çelik ailesi geliştirilmiştir (Gür, 2009). Maraging çeliklerinin ticari sınıflandırması, nikel içeriğine göre 18Ni (250), 18Ni (300) ve 18Ni (350) olarak yapılır. Maraging çeliği, havacılık, uçak endüstrisi, nükleer endüstri ve askeri endüstride kullanılırken; iyi kaynaklanabilirlik, yüksek mukavemet, yüksek akma mukavemeti, yüksek kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık işlemlerine uygun, iyi işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik açısından kullanımı yaygındır (Özer, 2010).

Tablo 2.2: Maraging Çeliklerinin Yaşlandırılması Sırasında Oluşan Çözelti Formları .

Bileşik	Kristal Yapı
Ni ₃ Mo	Ortorombik
Ni ₃ Ti	Hegzagonal Sıralı
Ni ₃ V	Hegzagonal Kompakt
Ni ₃ W	Ortorombik
Fe ₂ (Mo, Ti)	Hegzagonal Laves Fazı
FeMo	Tetragonal
FeTi	CsCl Kübik yapı
R (Mo-Co-Cr)	Hegzagonal Eşkenar Dörtgen
X(Fe-Cr-Mo)	Hacim merkezli kübik
Fe ₇ Mo ₄	Hegzagonal

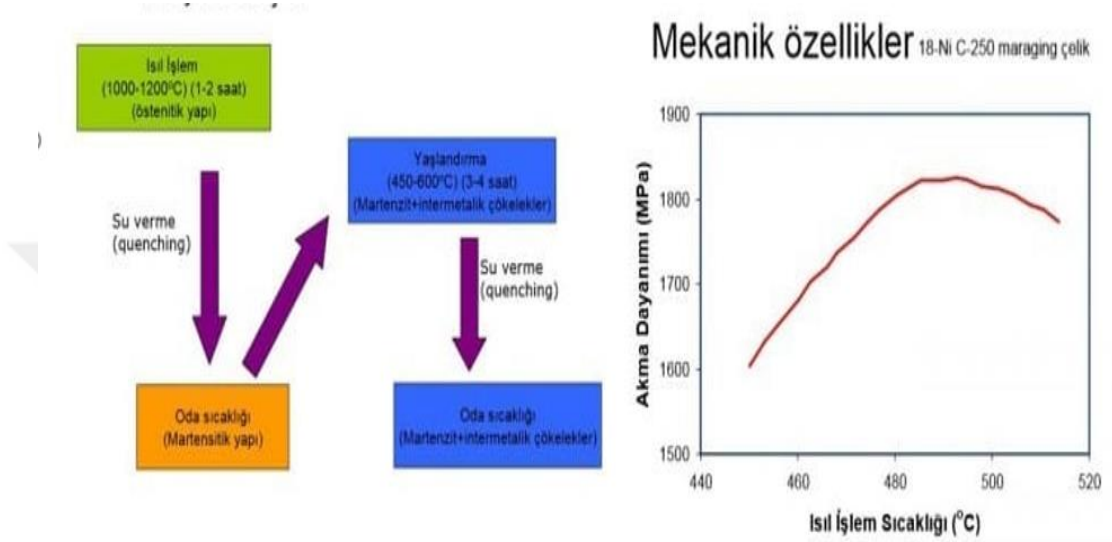
18% Nikel Maraging Çelikleri, (2022).

Maraging çeliğini oluşturan demir dışındaki temel elementler 16-18 arası nikel, 8-13 arası kobalt ve 3-5,5 arası molibdendir. Ayrıca içerdiği titanyum ve alüminyum aynı zamanda mukavemetine ve sünekliğine katkıda bulunur (Motorcu, 2009).

Maraging çeliklerinin üretimi incelendiğinde; martensite dönüştürülen çelikler, düşük karbon oranı nedeniyle sünek ve kolay işlenebilir bir yapıya sahip olmakla beraber (30-35 HRC) ve daha sonra 400-500 °C civarında yaklaşık 3-9 saat yaşlandırılır, bu yaşlandırma işlemi sonucunda çelikte yüksek bir mukavemet elde edilir. Bu bağlamda ise intermetalik bileşiklerin çökmesi söz konusudur (Aytaç ve ark., 2018). Bu çökeltiler, martensitik yapıdaki işlenmemiş malzemenin mukavemetini artırır. Ayrıca, bu işlemler nedeniyle, malzemenin deforme olduğunda bile homojenliğini korumasına izin veren intermetalik çökelmiş fazlar oluşur. Ayrıca düşük karbon içerdikleri için geleneksel yüksek dayanımlı çeliklere göre daha yüksek kırılma tokluğuna sahiptirler (Güleç ve Çakmakkaya, 2013).

Maraging çeliklerinde esas yapı martensit fazındadır. Uygulanan ısıl işlemler sonrası Ni_3Mo , Ni_3Ti vs. gibi intermetalik bileşikler tane içlerinde çökelirler.

Bu çökelmelerin oluşturduğu yapı ile ısıl işleme tabi tutulmamış martensitik malzemenin dayanımını daha üst seviyelere taşır. Uygulanan ısıl işlemlerin ve bu ısıl işlem sıcaklıklarının akma dayanımına etkisi şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Maraging Çeliklerinin Özellikleri

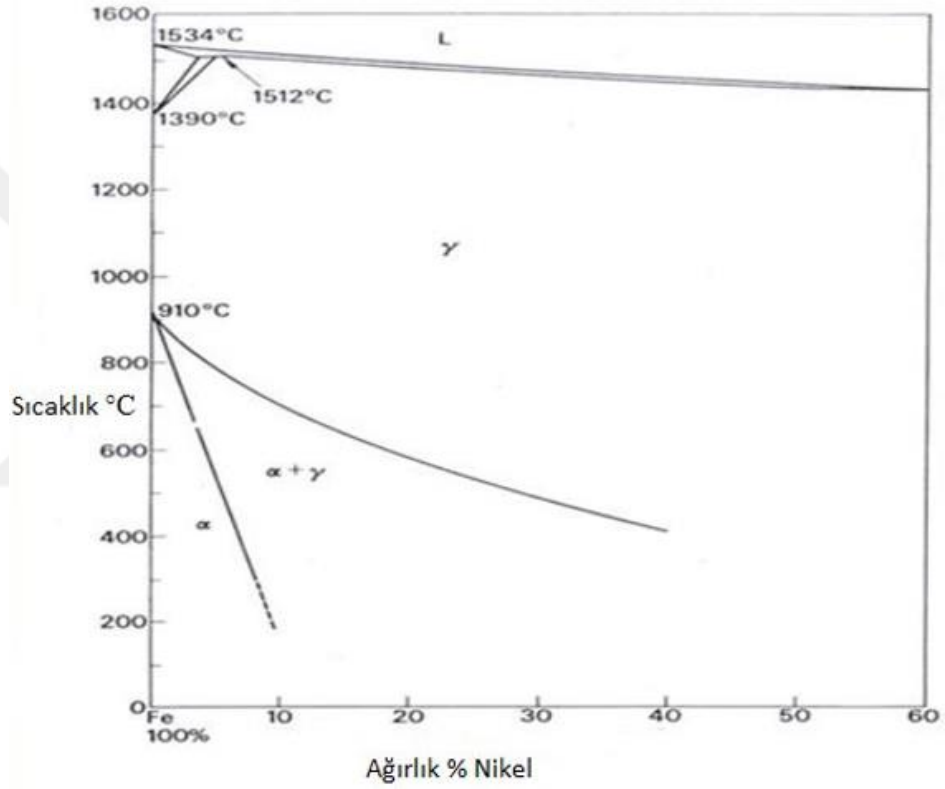
18-nikel-maraging-çelikleri, (2022).

2.3. Maraging Çeliğinin Isıl İşlemi

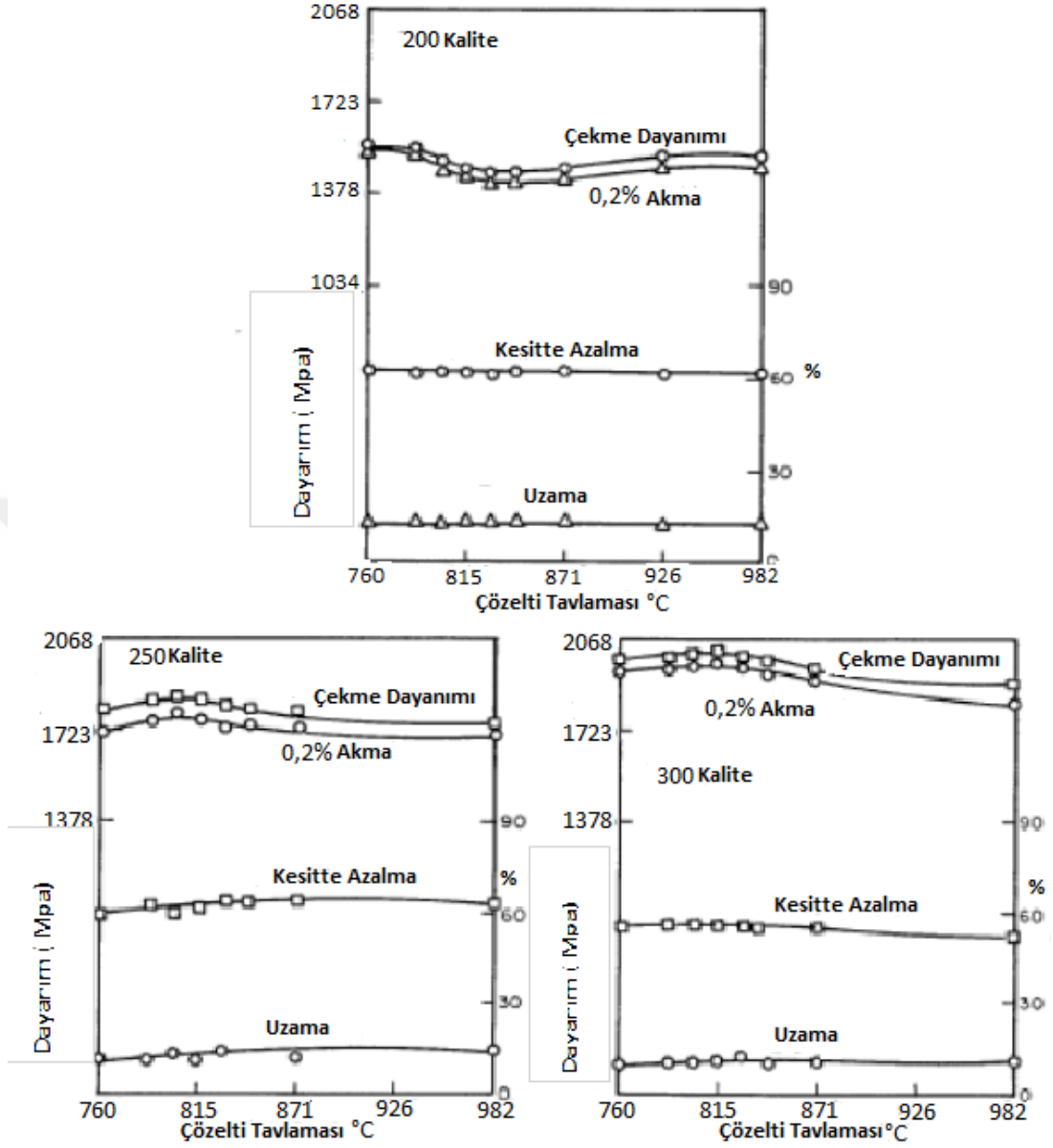
Maraging çeliklerinin ısıl işlemleri çoğunlukla 815°C – 820 °C de çözeltiye alma ısıl işlemi akabinde, havada soğuma ile oda sıcaklığına malzemenin ulaşması sonrası 482 °C’ de 3-6 saat yaşlandırma ısıl işlemi ile havada soğutma ile yapılır. Isıl işlem sonrası elde edilen martensitik yapı, diğer çeliklerde olduğu gibi, tetragonal kristal yapıda olmayıp, hacim merkezli kübik yapısındadır. (Havacılık roket tasarımlarında aranan malzeme: Nikel Maraging Çelikleri İlhami Pektaş, Tubitak Bilim ve Teknik). Oluşan kristal yapı düşük oranlarda karbon ve yüksek oranlarda nikel içerdiği için sertlikleri düşük (maksimum 34 HRC) ve tok özelliktedir.

2.3.1. Çözeltiye Alma Tavlaması

%18 nikel-demir ikili metal alaşımlarının gama dönüşümünü tamamlamak için 620 °C derecenin üzerine ısıtılması gerekmektedir. Ek alaşım elementleri ile minimum 732 °C'ye ısıtılır ve östenitik dönüşümün tamamlanmasına izin verilir. Aslında, tavlama sıcaklığı sınır sıcaklığından daha yüksek olmalıdır. 816 °C'de çökeltiler çözülür ve bir sonraki sıcak veya soğuk çalışma için ayarlamalar yaparak iç gerilme serbest bırakılır (Kılıç ve Al, 2013).



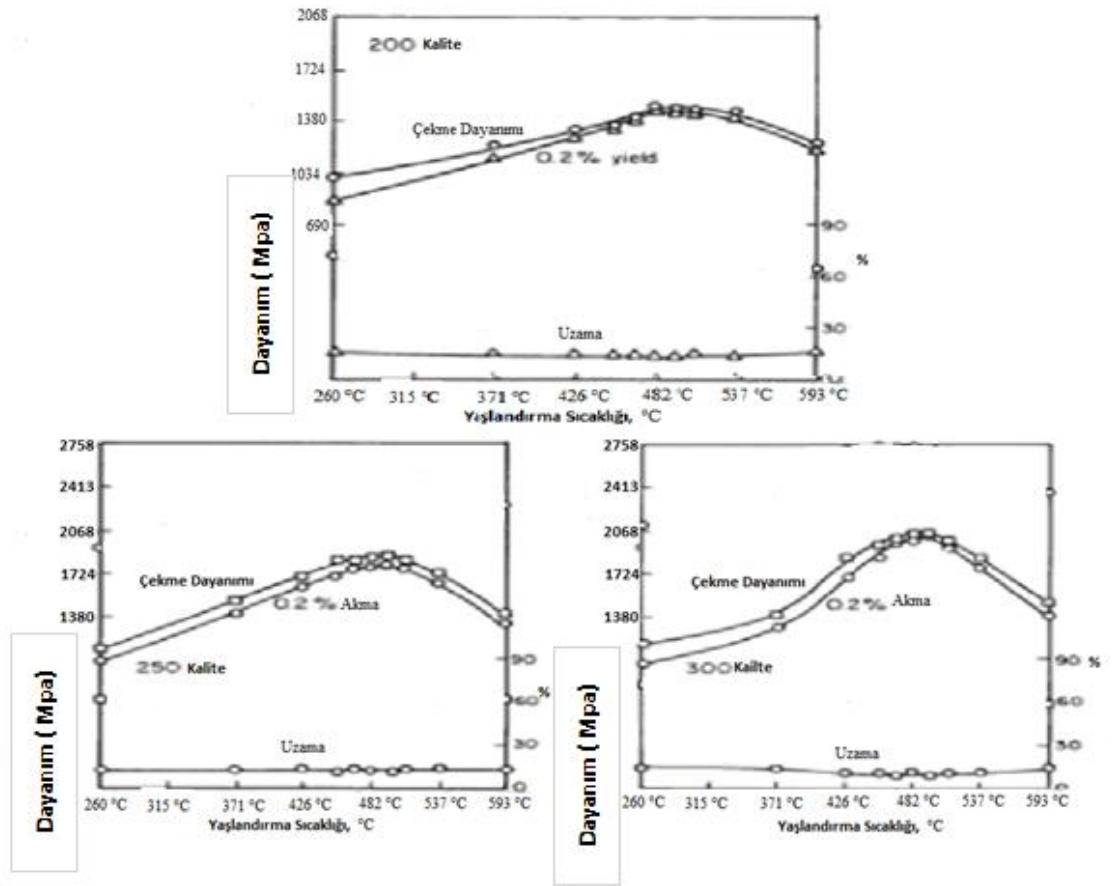
Şekil 2.2: Maraging Çeliklerinde Sıcaklık ve % Ni (Ağırlık) Faz Diyagramı
Totalmateria, (2023).



Şekil 2.3: Çözelti Tavlama Sıcaklığının 482 °C ve 3 Saatte Yaşlandırılan 200-250 Ve 300 Kalite Maraging Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi
18-nikel-maraging-celikleri, (2022).

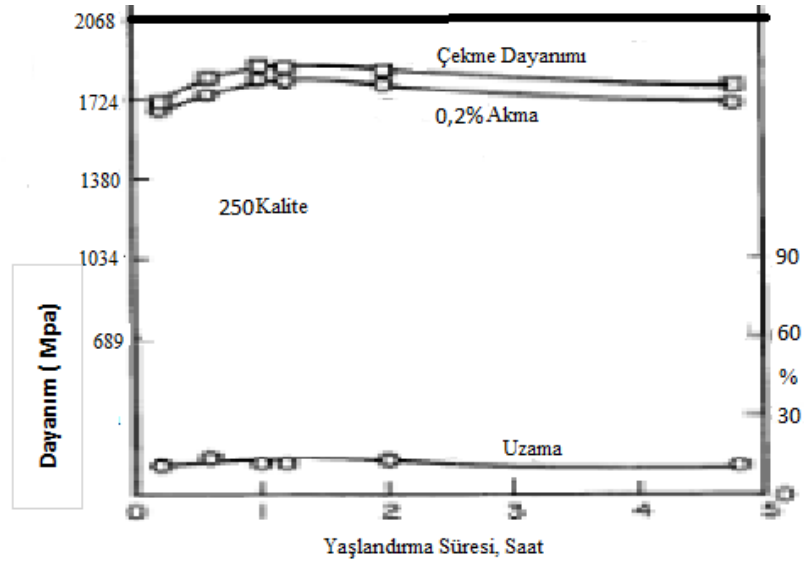
2.3.2. Yaşlandırma Isıl İşlemi

Östenit fazının geri kazanım sıcaklığının altındaki sıcaklıklara ısıtıldığında sertlik ve mukavemet artar. Örneğin 18 Ni maraging çeliği 690 MPa akma dayanımına sahipken, 482 °C 'de 3 saat yaşlandırıldıktan sonra 1723 MPa' a ulaşır. Maraging çelikleri için yaşlanma sıcaklığı aralığı 400 °C ile 510°C arasındadır. Endüstriyel uygulamalarda, genellikle 482 °C ve 3 saatlik bir yaşlandırma sıcaklığı seçilir (18-nikel-maraging-celikleri, 2022).



Şekil 2.4: 815°C’ De 30 Dk Çözeltiye Alındıktan Sonra Yaşlandırma Sıcaklığının Dayanım Ve % Uzama Değerlerine Etkisi (Yaşlandırma Prosesi 3 Saat Sürmüştür.)

18-nikel-maraging-celikleri, (2022).



Şekil 2.5: 250 Kalite Maraging Çeliğinin 815°C’ De 30 Dk Tavlandıktan Sonra 482 °C’ De Yapılan Yaşlandırma İşleminin Zamana Bağlı Olarak Dayanım Değerlerine Etkisi)

18-nikel-maraging-celikleri, (2022).

Maraging çeliklerinin takım malzemelerinde birçok kullanımı vardır. Çekme mukavemeti ve akma mukavemetinin çok yüksek olması gibi mekanik özellikleri burada kullanılmasına imkan vermektedir. Bu özelliklere ek olarak darbe dayanımı, yorulma dayanımı, basma dayanımı, tokluk, süneklik, sertlik ve aşınma direnci de dikkate alınmalıdır. Kolay işlenebilme, soğuk ve sıcak şekillendirme vb. özelliklere sahiptir. İçerdiği düşük karbon oranından dolayı (%0,03) iyi kaynaklanabilirliğe ve parlatılabilirliğe sahiptir ve çatlak büyümesine karşı çok yüksek dirence sahiptir. Isıl işlemleri için düşük fırın sıcaklıkları gerektirir (Aran, 2007-2008).

Isıl işlem sırasında çok az boyutsal değişim ile homojen bir yapı elde edilmiştir. Yüzeyde yoğun karbon tabakası veya dekarbürize tabaka bulunmadığından su verme sırasında çarpılma son derece küçüktür. 350 °C'ye kadar sıcaklıklarda mukavemetini korur. Düşük karbonlu martensitik yapısı nedeniyle yumuşaktır ve işlenmesi kolaydır. Nitrasyon ile yüzey sertleştirilebilir (Yeşildal, 2022). Maraging çelikleri, roket üretimi ve roket motoru gövdeleri, hava tüneli modelleri, topçu geri tepme yayları, AC motorları, uçak iniş takımları, yüksek performanslı mil ve cıvatalar, ekstrüzyon kalıpları, döküm kalıpları, orta sıcaklıkta, yükte ve darbeye atışlayan

yapısal parçalarda kullanılır. Maraging çeliklerinin kullanım alanları aynı zamanda üretim özellikleri ile bağlantılıdır (MEB-2011).

Takım uygulamalarında kullanılmasının ana nedenleri, yüksek mukavemet, ısıl işlem kolaylığı, boyutsal kararlılık, ısıl işlem ile dekarburizasyon olmaması, iyi işlenebilirlik ve yüksek sertlikte yüksek tokluktur. Ergimiş alüminyumun neden olduğu sıcak çatlak oluşumuna ve erozyona karşı iyi bir dirence sahiptir (Tayanç ve Zeytin, 2000).

Alüminyum dökümünde kalıp yüzeyi 538 °C – 594 °F arasındaki sıcaklıklara ulaşır. Bu nedenle bu yüksek sıcaklıklarda sertlik ve mukavemetin korunması, sıcak çatlama ve karşı direncin sağlanmasında çok önemli bir faktördür. Testler, kalıp bloğu malzemesinin, 250 ve 300 maraging çeliği kalitelerinin sertliğinin, 650 °C 'ye varan sıcaklıklara 200 saat maruz kaldıktan sonra 34-25 Rockwell C'de kaldığını göstermiştir. Performans testleri, bazen diğer çeliklere göre 25 kata kadar daha uzun ömür sağlayabildiğini göstermiştir. Kullanım ömrünün uzun olması açısından yüksek olan maliyeti fazlasıyla karşılama özelliğine sahiptir (MMO, 2022).

Maraging çelikleri kalıplarda, mandrellerde ve pistonlarda, özellikle ekstrüzyon aletlerinde kullanılır. Zirkonyum, berilyum, yüksek nikel alaşımları ve benzeri malzemeler, ekstrüzyon işleminde oldukça sert olduklarından ve tel, çubuk, boru ve diğer formlara dönüştürülebildikleri için yüksek ekstrüzyon basınçlarında üretilirler. Grade 300 maraging çeliğinin yüksek akma mukavemeti, onu bu ekstrüzyon işlemleri için ideal bir malzeme yapar. Takım çelikleri 1240-1450 MPa yük altında kırılır. Ancak Grade 300 kalite maraging çeliğinden üretilen pistonlarda bu değer 1585 MPa ve üzerine çıkabilmektedir. Yüksek sertlik, ekstrüzyon sıcaklıklarına direnç ve ısıl işlem sırasında boyutsal kararlılık, %18 Nikel 250 maraging çeliğini bu uygulama için kullanışlı kılar. Maraging çelik mandreller ayrıca pirinç ve bakır alaşımlarının ekstrüzyonu için kullanılır (18-nikel-maraging-celikleri, 2022).

Maraging çelikleri, bükme dayanımının kritik olduğu uygulamalarda kullanılır. Isıl işlemde çarpılmanın az olması ve kaynaklanabilirlik bu uygulama için önemli faktörlerdir. Burada yapının ağırlığını azaltan ve üretim maliyetini azaltan maraging çeliği kullanılır. Maraging çeliklerinin mukavemeti ve darbe direnci, belirli havacılık

uygulamalarında avantajlar sağlar. Nikel ve krom kaplama korozyon direncini arttırmaktadır (Malzeme Bilimi 2022).



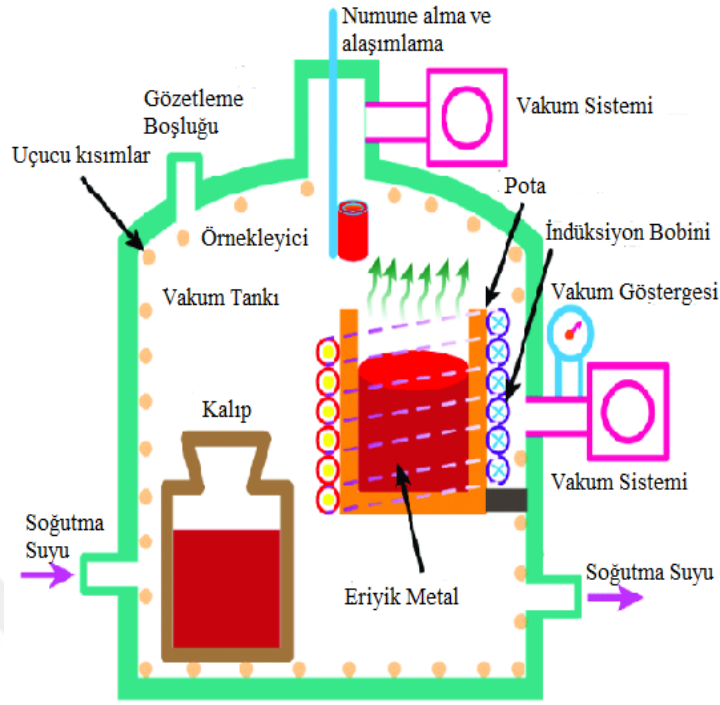
3. MALZEME VE METOT

3.1. VIM ve VAR Ergitme Teknolojileri

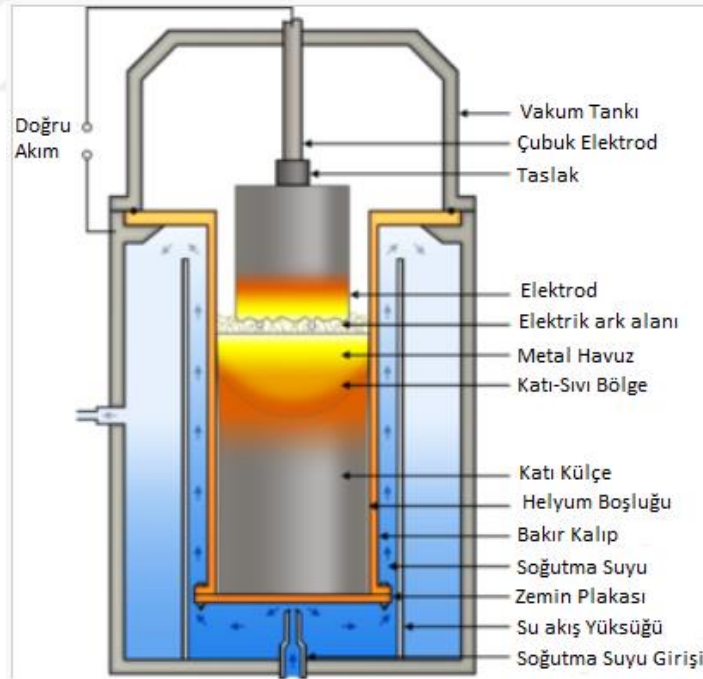
Maraging eliklerinin üretim yöntemlerinde VIM (Vacuum Induction Melting / Vakumda indüksiyon ile ergitme) ve VAR (Varcum Arc Remelting / vakumda ark ile yeniden ergitme) yer almaktadır. VIM ve VAR teknolojilerinin bulunması yüksek saflıkta malzemelerin elde edilebilmesi için oldukça kritiktir. Bu teknolojilere sahip olmak maraging çeliklerinin üretimlerinde olmazsa olmaz bir koşuldur.

VIM, genellikle yüksek saflıkta metal alaşımlarının rafine edilmesi için kullanılmaktadır.

VAR ise yüksek kimyasal ve mekanik homojenlięe sahip metal külçe üretiminde, ikincil bir ergitme işlemidir. Metal kalitesini artırmak için ilave bir kademedir.



Şekil 3.1: Vakumda İndüksiyon Ergitme (VIM) prosesi



Şekil 3.2: Şekil: Vakumda ark ile yeniden ergitme (VAR) Prosesi

İçeriğinde yüksek oranda Ni ve Co bulunan Maraging çelikleri aynı zamanda Ti, Al gibi reaktif elementleri de bulundurmaktadırlar. Bu elementler çeliğin karakteri için

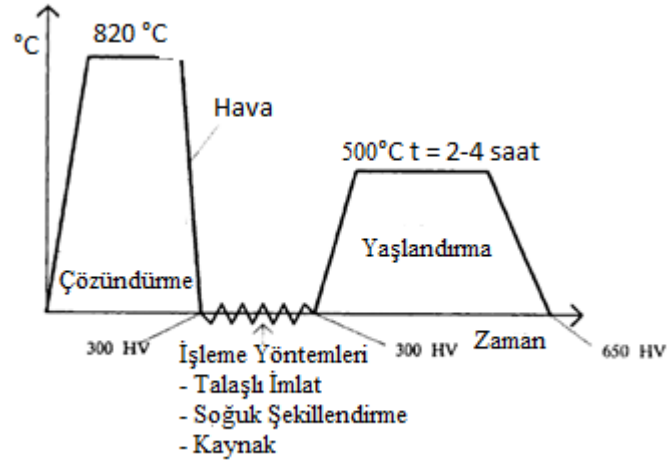
büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten dolayı bu gibi elementlerin çelik içerisindeki konsantrasyonu çok dar bir aralıkta olmalıdır. Dolayısıyla, alaşımların ergitilmesi vakum ortamında ve koruyucu atmosferde yapılmalıdır. VIM teknolojisi bu tür özel alaşımların üretilmesinde, ergitme sırasında tüm yararlı ve zararlı elementlerin izlenmesini sağlayarak yüksek hassasiyette bir alaşımlandırma olanağı sağlar.

Avantajları

- Oksijen olmayan ve vakum ortamında ergitme bazı oksit inklüzyonlarının ve reaktif elementlerin oksidasyonun oluşmasını engeller.
- Dar toleransların ve gaz bileşimlerinin oluşmasına katkıda bulunur.
- Buhar basıncının yüksek olması içeriğinde bulunması istenmeyen elementlerin ortamdaki uzaklaşmasını sağlar.
- Çözünmeyen O, H, N gibi gazların ortamı terk etmesini sağlar.
- Dar toleranslar içerisinde ve homojen bir alaşımlama ve ergitme sıcaklığının elde edilmesini sağlar.

Çözeltili Alma ve Yaşlandırma

Alaşımların istenen sıcaklığa ulaştırılıp, bu sıcaklıkta yeteri kadar bekletildikten sonra bir ya da birden fazla bileşik oluşturup, bu bileşiklerin katı çözeltiliye karışmasını sağlayan bir süreçtir. Ayrıca, bu bileşiklerin çözeltili içerisinde kalması için uygun soğuma hızları uygulanmalıdır. Bu aşamadan sonra çökelme ısı işlemleri, oluşan bu bileşiklerin oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda kontrollü bir şekilde serbest kalmasını sağlar. Çözeltili alma işleminin peşinden yaşlandırma yaparak sertleştirme yöntemi ile alaşımların birlikteliklerini değiştirmek mümkündür. Bu işlemin en temel faydaları; oda sıcaklığında ve/veya daha yüksek sıcaklıklarda mekanik dayanç kazandırılması, korozyon direnci ve oksidasyon direnci olarak sayılabilir.



Şekil 3.3: Maraging çeliklerinin ısıtım ve işleme yöntemlerinin akış şeması

Çözeltiliye alma işlemi ve yaşlandırma ısıtım işlemi maraging çelikleri için AMS 2759/3D 'de tanımlanmıştır. Ayrıca aynı standartta ısıtım işlemin koruyucu atmosfer altında veya açık atmosferde yapılabileceği de belirtilmiştir. Çalışma sıcaklığına ve kalınlığa göre seçilmesi gereken koruyucu gazlar da aynı standartta belirtilmektedir.

Tablo 3.1: AMS 2759 / 3D ısıtım proses parametreleri

Alaşım	Son ısıtım durumu	Çözeltiliye alma sıcaklığı 1 °F	Çözeltiliye alma sıcaklığı 1 °C	Çözeltiliye alma sonrası soğuma ortamı	Yaşlandırma sıcaklığı °F	Yaşlandırma sıcaklığı °C	Yaşlandırma Süresi, Saat
Maraging 250 ve Maraging 300	Yaşlandırılmış	1500	816	Havada soğuma veya daha hızlı	900	482	4--6

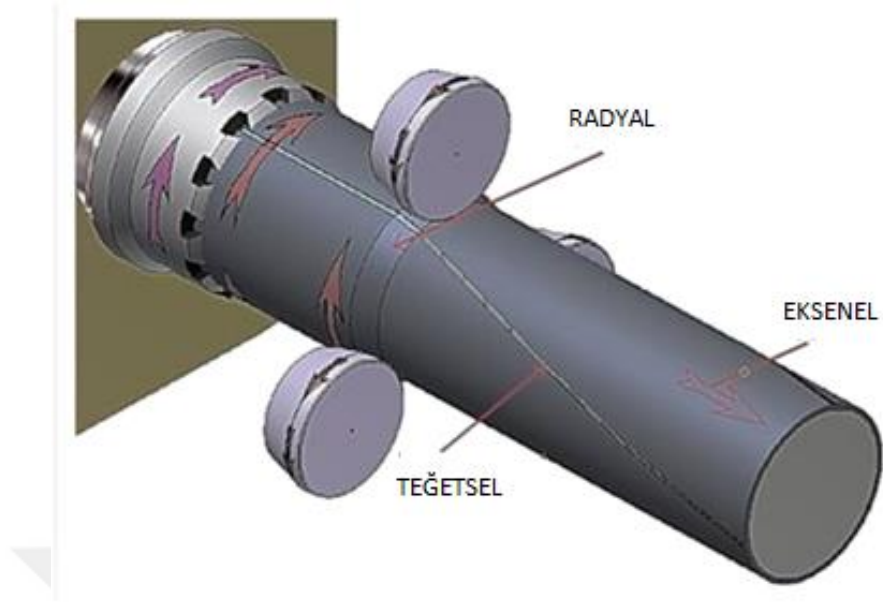
3.2. Boru Sıvama Prosesi (Flowforming)

Flowforming(sıvama) yöntemi, plastik şekil verme yöntemi olup silindirik yapıdaki döner silindirik parçaların şekillendirilmesinde kullanılan diğer üretim yöntemleri ile

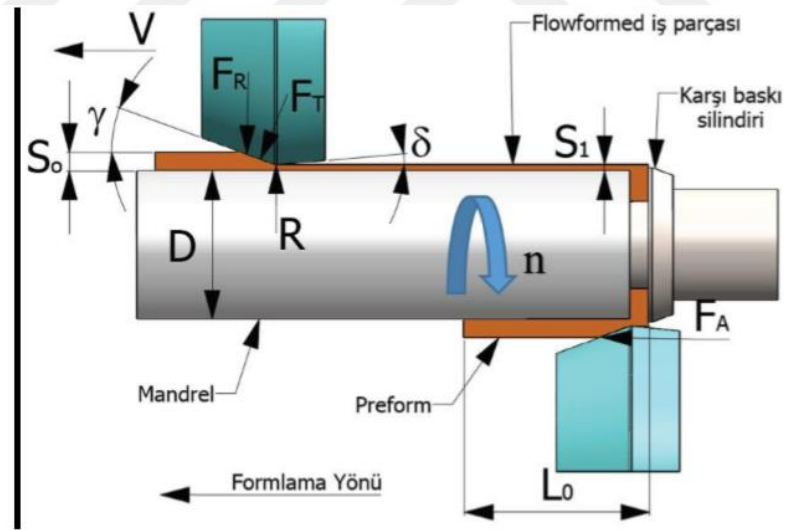
kıyaslandığı zaman çok avantajlı ve ileri teknolojiye sahip bir tekniktir. Bu teknik ile üretilen malzemelerin mikroyapılarında tane yönelmeleri ve plastik deformasyonun etkisi ile malzemenin dayanımında artışlar olmaktadır. Optik mikroskop ile incelendiğinde tavllanmış ısıtılmış işlem halindeki malzemenin uygulanan plastik deformasyonun etkisi ile tane yapılarının inceliği malzemenin boyuna doğru yöneldiği gözlemlenmiştir (fk1). Uygulanan plastik deformasyonun pekleşme etkisi ile akma ve kopma mukavemetlerini artırdığı görülürken malzemeye ait % uzama miktarının ve sünekliklerinin azaldığı da gözlemlenmektedir. Sıvama, kendi ekseninde döner bir parçanın dışarıdan basınç uygulanarak şekillendirilmesini sağlar. Hazırlık aşamasında işlenecek metal parça, preform olarak adlandırılır. Bu preform sac, yuvarlak bir disk veya boru şekilden olabilir. Preformun sabit bir şekilde dönmesi sağlanarak preforma hidrolik veya mekanik bir kuvvet uygulanır, bu kuvvetin etkisi ile preformun istenen şekli alması sağlanır. Bu yöntem ile yüksek dayanımlı, hafif ve hassas toleranslara sahip simetrik parçalar üretilir. Proses parametreleri ile istenilen et kalınlıklarına ve ölçümlere ulaşılabilir.

Bu yöntem ile malzeme yüzeyinden talaş kaldırılmamaktadır. Bu da malzeme kaybını azaltarak ciddi miktarda ekonomik fayda sağlamaktadır.

Sıvama yöntemi ile oluşturulan ürünlerin dayanımları, farklı üretim yöntemleri ile üretilen ürünlerden daha iyidir. Mukavemet artışının sağlanması ile beraber süregelen talaşlı imalat yöntemlerine göre daha ince cidarlı parçaların kullanılması mümkündür, bu da daha hafif parçaların üretilmesini sağlamaktadır. Boru sıvama prosesi özellikle havacılık ve savunma endüstrisinde çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Seri üretimlerde ekonomik fayda sağlayan boru sıvama prosesinin makine yatırımı ve tasarım aşamasında ki deneme maliyetleri pahalıdır. Bu nedenle, bu yöntemin modellenmesi ve analizi deneme üretimlerinin maliyetlerinde, ekipman ihtiyacının belirlenmesinde ve yatırımda büyük bir önem kazanmaktadır.



Şekil 3.4: Şekillendirme Sırasında Etki Eden Kuvvetler



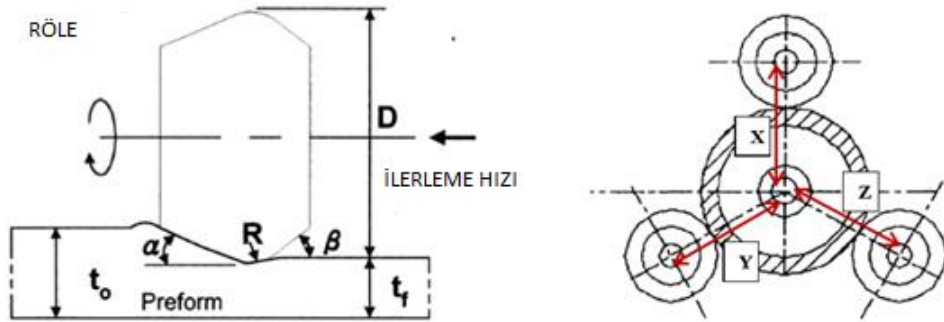
Şekil 3.5: Flowforming Mekanizmasının Şematik Gösterimi

Tablo 3.2: Sıvama Parametreleri

S_0 Başlangıç et kalınlığı (mm)	γ Röle şekillendirme açısı (derece°)	F_A Eksenel kuvvet (N or Kg)
S_1 Final ürün kalınlığı (mm)	δ Röle çıkış açısı angle (derece°)	F_R Radyal kuvvet (N)
L_0 Başlangıç parça boyu (mm)	R Röle yarıçapı (mm)	F_T Teğetsel kuvvet (N)
D İç çap (mm)	V İlerleme oranı (mm/minute)	n Spindle hızı (rpm)

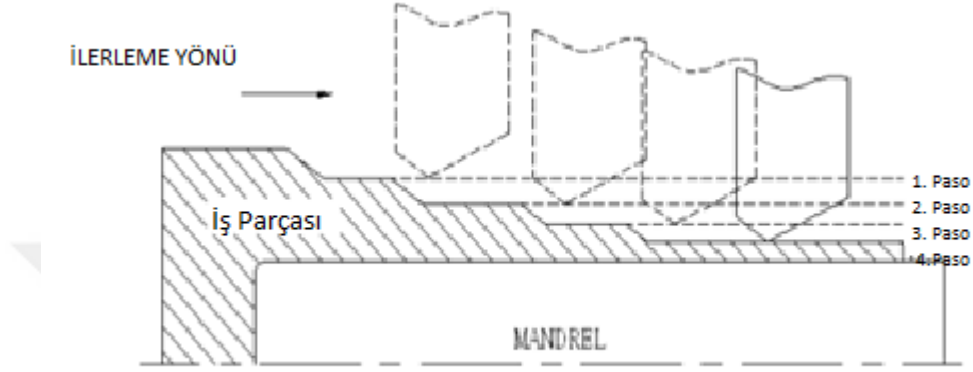
Şekilde görüldüğü gibi iş parçası, içerisine konulmuş bir mandrel üzerinde akmaktadır. İş parçasına rollerlar marifeti ile kuvvet uygulanır ve bu kuvvet ile iş parçası mandrel üzerinden akarak sıvanır. Bu işlem için iş parçasının ve son ürünün geometrik olarak simetrik olması önemlidir. Uygulanan yük ile plastik deformasyon gerçekleşir ve radyal yönde kalınlık düşerken, eksenel yönde deformasyon olduğundan dolayı borunun uzunluğu artar.

Flowforming (sıvama) üretim yöntemindeki temel mekanizma kısa ve cidarı kalın olan preform olarak adlandırılan parçanın röleler tarafından ince cidarlı hale getirilerek boyunun uzatılması prensibine dayalıdır.

**Şekil 3.6: Sıvama Rölelerinin Pozisyonlarının Şematik Gösterimi**

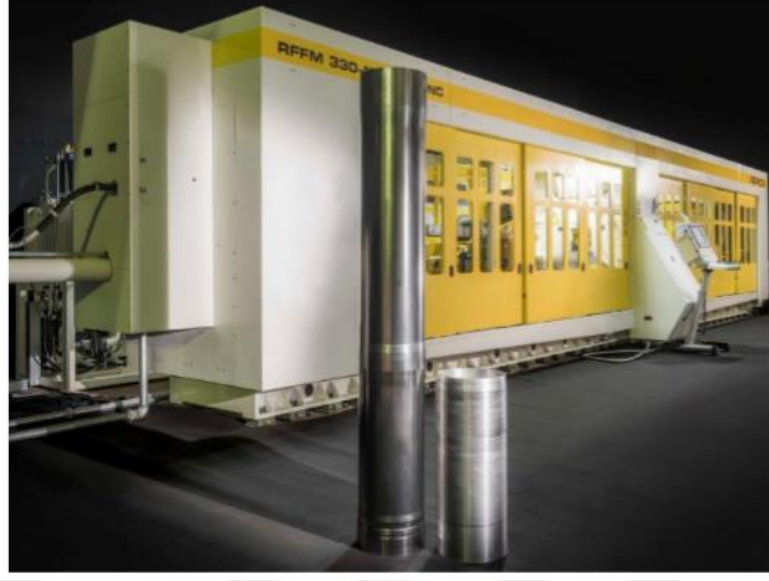
Şematik gösterimde görüldüğü gibi boru sıvama prosesinde 3 adet roller kullanılmıştır. Bu rollerlar birbirleri ile 120 ° açıyla sahiptirler. Roller geometrisinde görüldüğü gibi parçaya temas eden Radius ve α , β açıları da üretilmesi istenen

malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Bu noktada homojen bir ürünün çıkması için roller tasarımı, roller sayısı önemlidir. Ayrıca kullanılan mandrelin dış yüzey kalitesi çıkan ürünün iç yüzey kalitesini oluşturduğundan, mandrelin taşlanmış bir yüzeye sahip olması, üzerinde herhangi bir çentik, çizik, çatlak vs olmaması çok önemlidir.



Şekil 3.7: Sıvama Sırasında Paso Sayısına Göre Kademeli Olarak Et Kalınlığının Düşürülmesi

Şekil 3.2-4’ de görüldüğü gibi et kalınlığının azaltılması tek paso da olabileceği gibi birden fazla pasoda da yapılabilir. Tek paso da yapılabilecek max % ezme oranı malzemenin sünekliği ile ilişkilidir. Malzemenin % uzaması ne kadar yüksek olursa plastik şekil değiştirme kabiliyeti de o kadar yüksektir.



Şekil 3.8: Flowforming Prosesinde Başlangıç Parçası ve Final Ürün ile Flowforming Ekipmanı

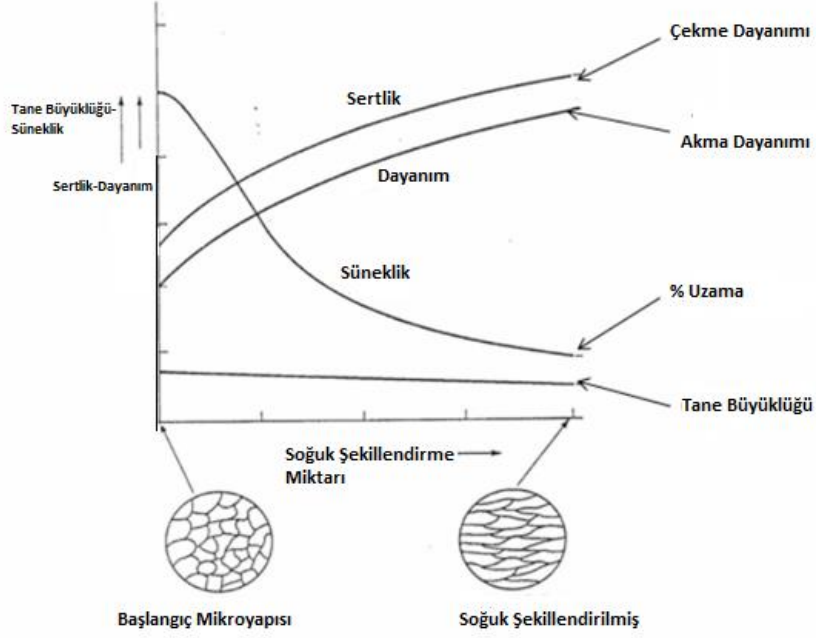
Flowforming üretim tekniğinin başlıca avantajları aşağıda sıralanmıştır. (Sivanandini, Dhami, ve Pabla 2012; M. J. Roy ve Maijer 2015; Rhodes ve ark. 2010; Matthew J. Roy, Maijer, ve Zhao 2014; Ghiotti ve ark. 2020):

Soğuk deformasyon sırasında, sertleşme nedeniyle şekillendirilmiş malzemelerin mukavemeti artar. Malzemenin taneli yapısı hem malzeme boyunca eksenel yönde (boyuna yönde) hem de ince taneli bir yapıya geçişte yönlendirilmiştir. Malzemenin çekme dayanımı ve akma dayanımı iyileştirilerek daha hafif ve daha dayanıklı parçalar oluşturulabilir.

Flowforming işlemi bir nevi “sürekli” soğuk dövme yöntemi olduğu için malzemeyi kesintiye uğratmadan bağ yapılarını oluşturur. Bu, mukavemet özelliklerinde gözle görülür bir iyileşmeye yol açar. Arttırılmış mukavemet özellikleri sayesinde çok yüksek sıcaklık, basınç ve aşınmaya maruz kalan parçalarda daha uzun kullanım ömrü sağlar.

Nihai ürünün geometrisine yakın bir şekil veya bitmiş bir şekil ortaya çıkmaktadır. İşlem sonrası derin delik delme ya da iç tornalama ihtiyacı ortadan kalkarken, dış ölçülere olan ihtiyaç minimum düzeydedir.

Parçaların geometrisi genellikle talaşlı imalatsız (ve/veya minimum talaşlı imalatlı) yapılabildiğinden, daha az ham madde (boşluk) ile imalat yapmak mümkündür.



Şekil 3.9: Sıvamanın Mekanik Özelliklere Ve Mikroyapıya Etkisi

Şekilde görüldüğü gibi ezme oranlarının artması ile sertlik ve dayanım artarken % uzama düşmektedir. Tane büyüklüğü büyük oranda aynı kalmasına rağmen taneler sıvama yönüne doğru uzamaktadır. İş parçasına yapılan her işlem gibi bu işlem sonrası da parçada kalıntı gerilmeler oluşmaktadır. Bu kalıntı gerilmeler servis yükleri altında parçanın dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebepten dolayı sıvama sonrası parçalara uygun sıcaklıklarda gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanmalıdır.

Tablo 3.3: Ürün Geometrisine Göre Farklı Malzeme Türlerine Ait Tek Pasoda Maksimum Ezme Oranı

Malzeme	Kalite No	Konik Ürün %	Yarım Küre Ürün %	Silindirik Ürün %
Demir Alaşımları	6434	70	50	75
	4130	75	50	75
	4340	70	50	75
	D6AC	70	50	75
	Rene41	40	35	60
	321 Paslanmaz Çelik	75	50	75
	347 Paslanmaz Çelik	75	50	75
	17-7 PH Paslanmaz Çelik	66	45	65
	410 Paslanmaz Çelik	60	50	65
	H11 Takım Çeliği	50	35	60
Yüksek Sıcaklık Malzemesi	Mo	60	45	60
Alüminyum Alaşımları	2014	50	40	70
	5086	65	50	60
	6061	75	50	75
	7075	65	50	75

M. J. Roy, Klassen ve Wood (2009), plastik gerilimin bir parçanın duvar kalınlığı boyunca dağılımını incelemek için mikro sertlik ölçümünü kullanmıştır. Akış oluşumu sırasında oluşan gerçek gerilimi belirlemek için AISI 1020 çelik malzemenin duvar kalınlığı sertlik dağılımı incelenmiştir. Kontroller sonucunda iş parçasının iç ve dış yüzeylerinde eşdeğer plastik gerilme daha yüksek, iş parçasının merkezinde ise daha düşüktür. İş parçasının son kalıplama aşamasında kalınlığın azalmasından dolayı yüksek bir eşdeğer plastik gerilme gözlenmiştir. Ayrıca

küçültme oranı arttıkça röle ile iş parçası arasındaki yerel plastik gerilmenin mandrel arayüzüne göre daha hızlı arttığı gözlemlenmiştir.

3.3. Sertlik Testi

Uygulamasının kolay olması ve malzemeye hasar vermemesi sebebi ile parçalar üzerinde yapılan en yaygın mekanik ölçümlerden birisi sertlik testidir. Ayrıca bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikler arasında da bir ilişki bulunmaktadır, bu sebeple diğer bazı özellikler ile ilgili de sertlik testi bilgi vermektedir. Örneğin, çelik malzemelerde çekme mukavemetleri ile parçanın sertliği arasında doğru bir orantı vardır.

Sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılmış katı bir nesneye karşı gösterdiği dirençtir. Sertlik testi, mukavemet hakkında bilgi sağlayan tahribatsız bir test yöntemidir. Sertlik göreceli bir ölçüdür ve malzemelerin sürtünmeye, kesilmeye, çizilmeye ve plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak da tanımlanabilir. Bilimsel bir bakış açısıyla, malzemelerin yer değiştirme hareketine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sertlik ölçümü genellikle bir malzemenin direncinin, malzemeye konik veya küresel bir standart uç sokularak ölçülmesinden oluşur. Aşağıda, katı bir nesneyi bir malzemeye batırarak sertliği ölçmek için yapılan testler yer almaktadır. Bu göstergeler arasında matematiksel ilişkiler vardır ve bir değerden diğerine geçiş yapabilirsiniz. Yöntem ne olursa olsun, bir numune üzerinde birden fazla ölçüm yapmak ve bu ölçümlerin ortalamasını almak daha doğru sonuçlar verecektir.

- Brinell sertlik ölçme yöntemi
- Vickers sertlik ölçme yöntemi
- Rockwell sertlik ölçme yöntemi
- Mikro-sertlik ölçme deneyi

3.3.1. Brinell Sertlik Ölçüm Yöntemi

Brinell sertlik ölçme yöntemi (DIN 50351) çekme gerilimi 150 kg/ mm² den az olan demir, çelik ve metal olmayan malzemere uygulanır. Bu sertlik ölçümünde küresel çelik bilyalar kullanılır.



Şekil 3.10: Brinell Sertlik Testinde Kullanılan Uç

Bilya çapları ve uygulacak ağırlık, sertliği ölçülecek malzemenin cinsi ve kalınlığına göre seçilir. Brinell sertlik ölçmede kullanılan (P) ağırlığını, küresel çelik bilyanın batan kısmının alanına (A) oranladığımızda (HB) sertliğini verir ve aşağıdaki formülle bulunur.

$$HB = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

İz alanı, bilya çapı (D) ve iz çapı (d) cinsinden yazıldığında, Bilya iz alanı mm²:

$$A = \frac{D\pi d - D\pi\sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad (3.2)$$

Alan formülünü ilk formülde yerine koyduğumuzda, kg/mm²

$$HB = \frac{2P}{\pi d (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.3)$$

HB: Brinell sertlik derecesi, kg/mm²

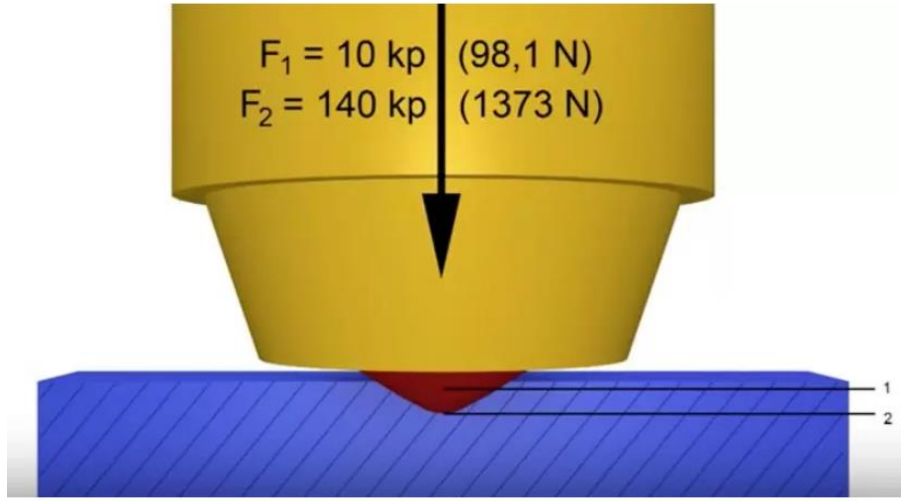
3.3.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi

Rockwell sertlik yöntemi, konik veya küresel delici bir cismin belirli bir yük altında ölçülecek malzemeye nüfuz etme derecesinin, malzemenin sertliği hakkında bilgi vermesi esasına dayanan bir sertlik ölçme yöntemidir. Brinek ve Vickers yöntemlerinin aksine Rockwell sertlik ölçüm yönteminde sertlik, ray yüzeyine gelen yüke göre hesaplanmaz, iz derinliği dikkate alınır. İşaretin derinliği ve sertlik değeri bir derinlik ölçer kullanılarak okunabilir. Bu sayede kısa süreli sertlik ölçümleri elde edilebilir ve istenirse süreç otomatikleştirilebilir.



Şekil 3.11: Rockwell Sertlik Deneyi.

Rockwell sertlik deneyi için muayene edilecek yüzey alanı 25 cm² den fazla olmamalıdır, yüzey parlatılmış olmalıdır. Sertlik ölçmeye etki edebilecek derecedeki yüzey pürüzleri ve uygunsuzlukların bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir.



Şekil 3.12: Rockwell Sertlik Deneyi

İlk vuruş 10 kgf gibi küçük bir yük uygulanarak yapılır. Uç, malzemenin üzerine oturur ve onu yerinde tutar. Daha sonra büyük bir yük (F') uygulanır. Büyük yük toplam yüküdür. Derinlik ölçümü sadece yükteki artıştan dolayı derinlikteki artışa bağlıdır. Standart prosedüre göre büyük bir yük uygulanıp bırakıldıktan sonra, küçük bir yük uygulanmaya devam edilirken okla gösterilen değer okunur. Ölçek, izin uzunluğu ve derinliği ölçümlerine eşdeğer olan Rockwell sertlik değerlerini gösterdiğinden, sertlik değeri doğrudan okunabilir.

3.3.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi

Yöntem, 136° kare tepe açısına sahip piramidal delici elmas uç ve çeşitli standartlara göre hazırlanmış bir taban ile numunenin çeşitli yükler altında deformasyonundan oluşur. Uygulanan yük maksimum 5 saniye süreye ulaşmalı ve malzeme üzerinde maksimum 15-20 saniye etki etmelidir. Oluşturulan deformasyon bölgesinin köşegenleri arasındaki mesafeler ölçülür. Bu en karmaşık ölçüm yöntemi olmasına rağmen, en doğru ölçümdür. En yüksek sertlik değerleri ve sinterlenmiş malzemelerin sertliği kolaylıkla ölçülebilir. Vickers sertlik testi yöntemi (DIN 50133), ince malzemeleri, boruları, ince sac sertleştirilmiş makine parçalarını, kesici takımları, yumuşak çeliği ve çelik olmayan tüm malzemeleri ölçmek için kullanılabilen bir ölçüm yöntemidir.

Vickers sertliğini ölçmek için 1-2-3-5-10-20-30-40-50-62.5 ve 125 kg ağırlıklar kullanılır. Bu ağırlıklar, sertliği ölçülecek parçanın kalınlığına göre seçilir. Tamamen sertleştirilmiş parçaların sertliğini belirlemek için 50 ila 125 kg arasındaki ağırlıklar kullanılır. Ağırlık arttıkça, elmas ucun penetrasyon derinliği de artar. Böylece sertlik ölçüm işleminin doğruluğu (hassasiyeti) arttırılır.



Şekil 3.13: Elmaz Piramit Uç ve Vickers İzi

3.3.4. Mikro-Sertlik Deneyi

Bu test özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliğini ölçmek için uygundur. Bu yöntem ayrıca sertleştirilmiş ve kaplanmış yüzeylerin sertliğini de belirleyebilir. Ayrıca bu yöntem, malzemenin iç yapısının çeşitli fazlarının ve bölümlerinin sertliğini ölçer. Bu yöntemde daldırma derinliği genellikle 1 mikronu geçmez. Mikrosertlik test cihazı, otomatik olarak kontrol edilen hassas bir cihazdır. Makro sertlik test cihazlarından farkı, sistemin tam bir metal mikroskobu içermesidir. Sertliği ölçülecek olan numune mikroskop tablasına alınır ve okülerden net bir görüntü elde edilene kadar tabla hareket ettirilir. Ardından sertlik ölçümü için alan seçilir ve yükleme, bir düğmeye basarak otomatik olarak yapılır. Böylece numune üzerinde iz elde edilir. Tatil oranları genellikle manuel bir sistem tarafından belirlenir.

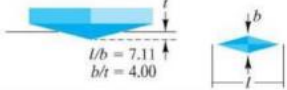
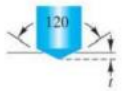
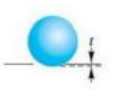
Mikrosertlik testinde iki standart kesici uç kullanılır. Bunlardan biri kare tabanlı ve 136°'lik bordür açısına sahip piramidin tepesidir (Vickers'ın tepesi). Diğeri, Knup'ın tepe noktası olarak bilinen 172°30' piramit tepe noktasıdır. Vickers ucu numune üzerinde kare bir işaret bırakırken, Knoop ucu elmas bir işaret bırakır. 1 ile 10.000 g

arası yük değerleri mikrosertlik cihazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1 g'dan daha az yük kullanan ultra sertlik test cihazları da vardır.Öte yandan son yıllarda geliştirilen nanosertlik ölçüm cihazları olarak bilinen cihazlarla μN cinsinden bir yük kullanılarak izin derinliği nm cinsinden elde edilebilmektedir. Mikrosertlik test numunesinin yüzeyi metalografik olarak hazırlanmalıdır. Yüzey temiz, cilalı ve genel olarak perdahlı olmalıdır.

Tablo 3.4: Sertlik Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

YÖNTEM	BATICI UÇ	İYİ VE KÖTÜ YÖNLERİ	KULLANILDIĞI YERLER
Brinell HB	Çelik Bilye	Tam, yeniden elde edilebilen değerler, sadece yumuşak ve orta sertlikteki malzemeler.	Tavlınmış ve ıslah edilmiş çelik, hafif metaller, ağır metaller.
Vickers HV	Elmas piramit	Üniversel olarak uygulanabilen sertlik deneyi, orta sert ve sert malzemeler için.	Sertleştirilmiş çelik, sertleştirilmiş yüzey tabakası, doku elemanları.
Rockwell (rokvel)			
HRC HRA	Elmas koni	Sertlik değerinin doğrudan doğruya gösterimi, sert malzemeler için.	Sertleştirilmiş çelikler ve alaşımlar, sert metaller.
HRB HRF	Çelik bilye	Sertlik değerinin doğrudan doğruya gösterimi, orta sert ve yumuşak malzemeler için.	Sertleştirilmemiş çelikler, bakır çinko alaşımları.

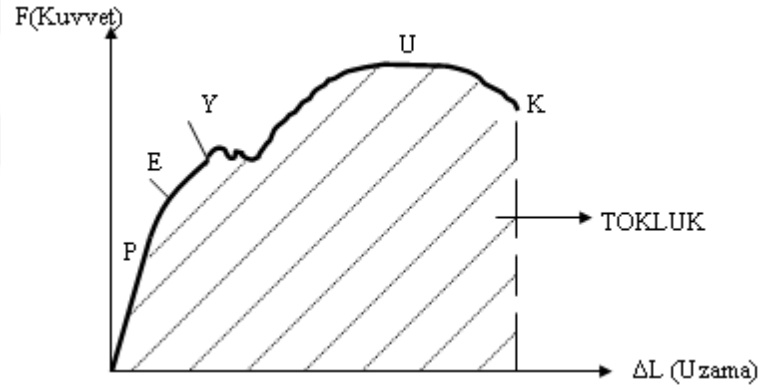
Tablo 3.5: Test Yöntemlerine Göre Batıcı Uç, Batma Şekli, Yük, Sertlik Formülasyonu.

Test	Batıcı Uç	Batma şekli Yan görünüş Üst görünüş	Yük	Sertlik Formülasyonu
Brinell	10 mm çapında çelik tungsten karbür küre		P	$BHN = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers	Elmas Piramit		P	$VHN = 1.854P/d_1^2$
Knoop	Elmas Piramit		P	$KHN = 14.2P/l^2$
Rockwell				
A } C } D }	Elmas Koni		60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ } 100 - 500t
B } F } G }	1/16 in çapında çelik küre		100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ } 130 - 500t
E } H }	1/8 in çapında çelik küre		100 kg 60 kg	$R_E =$ $R_H =$

3.4. Çekme Testi

Yapısal malzemeler rijit olmadıklarından, kuvvet altında deforme olurlar ve şekil ve boyut değiştirirler. Bir malzemenin özelliklerini anlamak için mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi “çekme testi”dir. Çekme testinin amacı; Malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirler. Bunun için standartlara uygun boyutlara sahip yuvarlak veya dikdörtgen bir numune; Bir çekme cihazına bağlanarak eksenel ve değişken kuvvetler uygulanır.

Çekiş cihazı esas olarak; Test numunesinin takıldığı, birbirine göre yukarı ve aşağı hareket edebilen iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren ve bu iki miktarı ölçen düğümlerden oluşur. Çenelerden biri sabit hızla hareket ettirilerek test örneğine değişken bir çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir.



Şekil 3.14: Kuvvet & Uzama Grafiği

Düşük kuvvet seviyelerinde, uzama miktarı kuvvetle doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranır; yani kuvvet kaldırıldığında uzama sıfırlanır. Bu sembol P noktasına kadar devam eder. Doğrusal fonksiyonun eğimi P orantılı limitinden sonra değişir. Ancak elastik davranış korunur. Elastik davranış E "Elastik limit" noktasında sona erer. E'den sonra kalıcı; yani plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaldığında, doğrusal fonksiyona paralel bir yol boyunca hareket eder. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde, gerinim artık sıfır değildir, bir miktar plastik gerinim kalır.

Malzeme yüklenmeye devam ederse Y noktasından dışarı akacaktır. Akma noktasındaki kuvvet aynı olduğunda büyük plastik deformasyon meydana gelir.

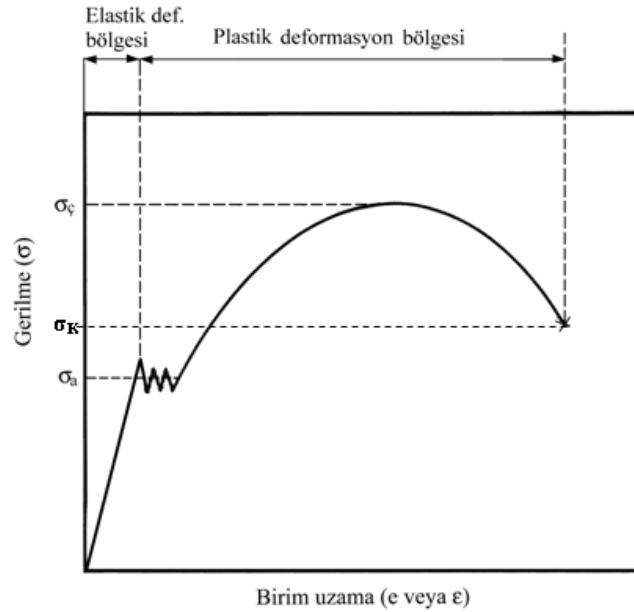
Akışkan malzeme “çalışma sertleşmesi” tabi tutulur ve daha güçlü ve daha fazla kuvvet emici hale gelir.

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da artırılarak U noktasına ulaşılır. U noktası, malzemenin enine kesitinde yerel kasılmaların başladığı “maksimum gerilme” noktasıdır. Buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme aynı zamanda malzemenin çok çalışmasını sağlar ve malzeme ağır yüklere dayanabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldıkça ortaya çıkan taşıdığı kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına hareket eder ve orada kırılır.

Kuvvet-uzama eğrisinin altındaki alan, bu numuneyi ayrıştırmak için gereken enerjiye eşittir; tokluk denir.

Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra ölçeklendirilir. Uzantılar, malzemenin ilk uzunluğuna bölünür ve “birim-uzama” ya dönüştürülür. Benzer şekilde kuvvet, “gerilim” hesaplamak için numunenin ilk enine kesit alanına bölünür ve dikey eksen ölçeklenir.

Malzeme, yok olana kadar önemli bir deformasyona uğramışsa “sünek” ,hafif deforme olmuşsa “gevrek” bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.15: Düşük Karbonlu Bir Çeliğe Ait Çekme Diyagram

3.4.1. Video Ekstensometre

Bir ekstansometre, bir nesnenin uzunluğundaki küçük ve büyük değişiklikleri ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Bu cihaz çekme ve çekme testlerinde kullanılır. Pek çok malzeme için gerinim, mekanik ekstansometreler veya numune referanslı gerinim ölçerler kullanılarak ölçülebilir. Ancak bu cihazlar genellikle lifler, köpükler veya yumuşak plastikler gibi hassas malzemeleri test etmek için uygun değildir. Bunun nedeni, bu cihazların ağırlık ve sabitleme yöntemi gibi parametrelerinin hem sonuçları hem de malzemenin çekme mukavemetini etkilemesidir. Bu sorunları çözmek için günümüzde lazer ve video ekstansometreler gibi numuneye temas etmeden ölçüm yapan sistemler kullanılmaktadır.

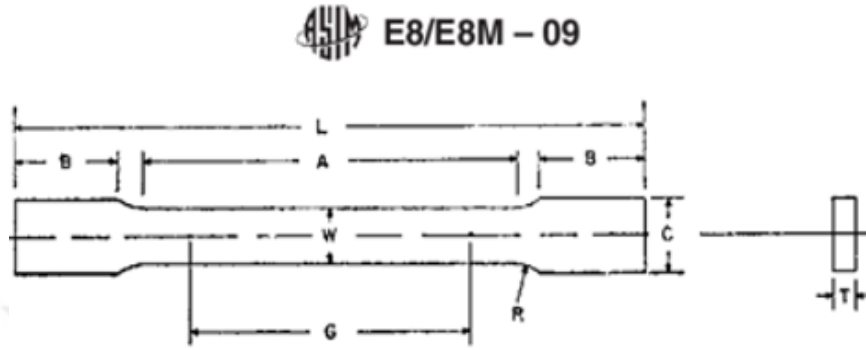


Şekil 3.16: Video Ekstensometre

Bu cihaz, test sırasında bir bilgisayara bağlı dijital video kameralar ile numunenin görüntülerini sürekli olarak yakalayarak malzemenin gerilimini/gerinimini ölçmenizi sağlar. Test materyallerinin numuneleri standartlarda belirtildiği gibi kesilir ve numune üzerinde belirgin işaretler ile işaretlenir. Materyale ait numune çekme/basma halindeyken bu video sayesinde numune üzerindeki değişimler işaretle belirtilmiş alan üzerinde piksel olarak takip edilir. Pikseller arasındaki mesafeler ölçülerek nihai şekil değiştirme değerleri alınır. Bu görüntülerin alınmasında ve pikseller arasındaki mesafelerin ölçümünde iyi bir kalibrasyonun yanında doğru bir görüntüleme

algoritmasının da olması önemlidir. Bu şekilde bir mikrometrenin altında çözünürlükler elde edilebilir.

3.4.2. Çekme Test Kuponu



	Standart Ölçüler mm		
	Plaka Ölçüleri 40 mm genişlik	Levha Ölçüleri 40 mm genişlik	Küçük Numune Ölçüleri 6 mm genişlik
G - Ölçüm Boyu	200 ± 0,2	50 ± 0,1	25±0,1
W- Genişlik	40 ± 2	12,5 ± 0,2	6,0±0,1
T- Kalınlık	Malzeme Kalınlığı		
R- Yarıçap	25	12,5	6
L - Toplam Uzunluk	450	200	100
A- Küçültülmüş Kesit Uzunluğu	225	57	32
B - Kulak Boyu	75	50	30
C- Kulak Genişliği	50	20	10

Şekil 3.17: Metalik Malzemeler İçin Çekme Testi Standardı ASTM E8/E8M-09

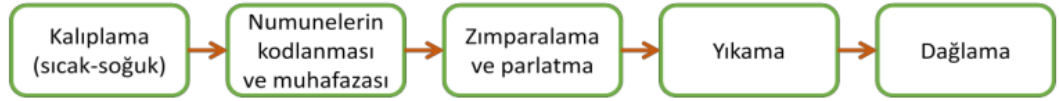
3.5. Mikroyapı İncelemeleri Ve Uygulamada Önemi

Mikroyapı Nedir

Mikroyapı 25x den daha yüksek büyütme altında ortaya çıkan malzemelere ait yüzey yapılarını ifade eder. Bir malzeme mikroyapısına göre kompozit, metal, seramik ve polimer olarak sınıflandırılabilir. Mikroyapıda görülen fazlar, tane büyüklükleri, geometrik özellikler malzemeye ait korozyon, aşınma, sertlik, süneklik ve tokluk gibi özellikler hakkında fikir verir. Tane içerisinde fazların dağılımları, tane boyutları malzemelerin mekanik davranışları ile doğrudan ilişkilidir. Mikroyapının ince taneli olması ile iri taneli olması malzemenin mekanik davranışlarını etkilemektedir. İnce taneli yapıların mukavemeti daha yüksektir. Matrisinde iki faz içeren alaşımlarda fazlardan birisi daha sert ve kırılğan bir özelliğe sahiptir. Kırılğan ve sert yapıda olan bu faz tane içerisinde çok yoğun bir halde bulunursa olası kırılmalar ve çatlaklar bu faz üzerinde ilerleyecek dolayısıyla malzemenin sünekliği azalacaktır. Takviye elemanları (partikül ve fiber gibi) mikroyapıyı ve mukavemeti etkiler.

Numune Alma

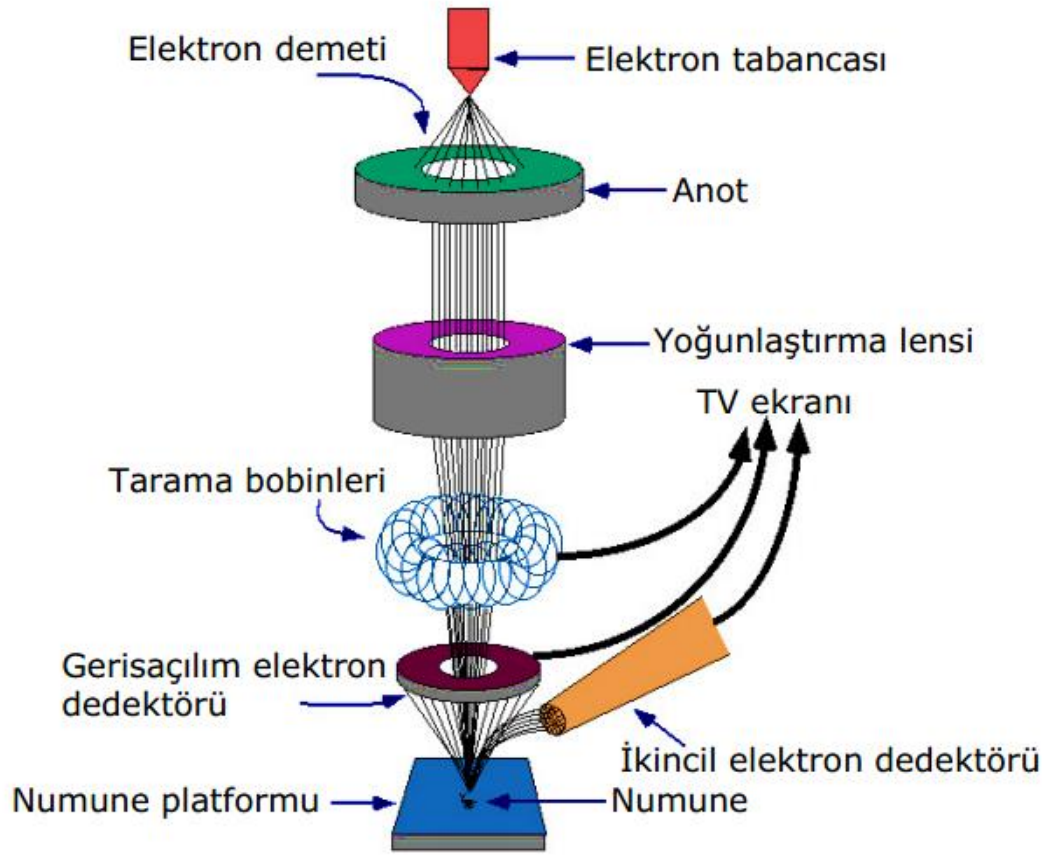
Mikroyapı analizi yapılmadan önce incelenecek olan parçadan numune alınması amaca uygun olmalıdır. Hasar analizi yapılacak ise hasara uğrayan ve uğramayan yerlerden numuneler alınması önemlidir. Alınan numunenin parçayı yansıtmaması gerekmektedir. Bu sebeple çok sayıda numune alınması mikroyapı incelemeleri açısından bir avantaj olup ekstra maliyetler getirmektedir. Plastik deformasyon ile şekil verilmiş parçalarda enine ve boyuna numuneler alınması daha iyi sonuç verecektir. Numuneler ana parçadan kesilirken, işlem sırasında ısınmalardan kaçınmak için mutlaka soğutma sıvıları kullanılmalıdır. Numunenin hazırlık aşamasında fazla ısınması da mikroyapı da değişikliklere neden olacaktır. Numune hazırlama adımlarının şematik gösterimi şu şekildedir:



Şekil 3.18: Numune Hazırlama Adımları

3.5.1. Taramalı Elektron Mikroskop(SEM) ve EDS Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) malzeme yüzeylerini doğrudan incelemek için tasarlanmış, numune üzerinde düzenli bir şekilde taranan bir elektron probu olarak nispeten düşük enerjiye sahip odaklanmış elektron ışınını kullanan bir mikroskop türüdür. Işını üreten ve odaklayan elektron kaynağı ve elektromanyetik lensler bulunmaktadır. Elektron demetinin hareketi, numunenin yüzeyinden yüksek enerjili geri saçılan elektronların ve düşük enerjili ikincil elektronların emisyonu ile uyarır. Elektronların yüzeyi taraması sonrası numune atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkiler uygun algılayıcılar ile toplanır ve katot ışınları tüpünün ekrana aktarılması ile görüntü elde edilir. SEM’de inceleme için ayrıntılı numune hazırlama teknikleri gerekmez ve büyük ve hacimli numunelere bakılabilir. Numunenin elektriksel olarak iletken hale gelmesi gerekmektedir. Aksi takdirde keskin bir resim elde edilemez. SEM ile incelenen numune 500.000 x e kadar büyütülebilir ve EDS analizi ile belli bir yerde oluşan elementler belirlenebilir. Elementler kendilerine özgü enerji taşımaktadır. Bu enerji, X ışınları olarak malzeme yüzeyinden salınır ve EDS dedektörü ile tespit edilir. Bu şekilde malzemenin kimyasal bileşimi hakkında bilgi edinilebilir. Bu kombine tekniğe SEM-EDS analizi adı verilir.



Şekil 3.19: Taramalı Elektron Mikroskopunun (SEM) Şematik Görüntüsü

4. BULGULAR

4.1. Kimyasal Kompozisyon Analizi

Tedarik edilen MARAGING 250 kalite dövme ham malzeme, çözeltiye alınmış şekilde gelmiştir. Tedarik edilen malzemenin MIL-S-47319 “ STEEL, BAR, BILLET, AND FORGINGS COBALT-FREE MARAGING” standardına uygunluğunun doğrulanması amacı ile bir takım testler yapılmıştır. Tedarik edilen bu parça “iş parçası” olarak adlandırılmıştır. İş parçasından 20 mm yüksekliğinde numuneler kesilmiş ve numuneler üzerinden Optik Emisyon Spektrometre ile kimyasal kompozisyon bakılmıştır. Kimyasal kompozisyon analizi yapılan cihaz aşağıdaki şekilde resmedilmiştir.



Şekil 4.1: Spektromax Cihazı

Tablo 4.1: İş Parçasının Kimyasal Kompozisyonu ile MIL-S-47319 standardı ile karşılaştırılması

	C%	Si%	Mn %	P%	S%	Cr %	Mo %	Ni%	Al%	Co %	Cu %	Ti %
İş Parçası	0,01 9	0,01 6	0,03	0,00 8	0,01 3	0,1 6	3,21	20,4 7	0,14 6	0,0 9	0,0 6	1,5 5
MIL-S-47319	0,03 max .	0,1 max .	0,1 max .	0,01 max .	0,01 max .	0,5 max .	2,75 - 3,25	18 - 20	0,05 - 0,15	0,5 max .	0,5 max .	1,2 - 1,6

4.2. Sertlik ve Sertleşebilirlik Testleri

Soğuk şekillendirmeye uygun olması ve kaynaklanabilirlik açısından düşünüldüğünde iş parçasının çözündürme tavlaması (solution annealed) ısıtıl işlem durumunda temin edilmesi gerekmektedir. Bu formda temin edilen iş parçasına gerekli şekillendirme prosesleri ve kaynak operasyonları uygulandıktan sonra yaşlandırma (aging) ısıtıl işlemi uygulanarak iş parçasında nihai sertlik elde edilmektedir. MIL-S-47319 standardına göre çözündürme tavlaması (solution annealed) ısıtıl işlem formunda olan iş parçasının sertlik değerinin 34 HRC’ nin altında olması gerekmektedir. Sertlik testinin doğrulanması için iş parçasından kesilen numunelere sertlik testi uygulanmış ve sertlik sonucu 30-31 HRC olarak ölçülmüştür.

Sertleşebilirlik özelliğinin doğrulanması için çözeltiye alınmış ve sertliği standartta belirtildiği gibi 34 HRC’ nin altında gelen parçalara 482 ± 6 °C’de 4 saat yaşlandırma ısıtıl işlemi uygulanmış ve yaşlandırma sonrası sertlik ölçümü 52-52,5 HRc mertebelerinde ölçülmüştür. Sertlik ölçümü “Wilson Hardness” marka masaüstü sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ön yükleme olarak 10 kgf yük sonrası 150 kgf yük uygulanmıştır.

Yapılan kimyasal kompozisyon ve sertlik ve sertleşebilirlik testleri sonrası temin edilen Maraging 250 kalite iş parçasının MIL-S-47319 standartlarına uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2: Wilson Sertlik Ölçüm Ekipmanı

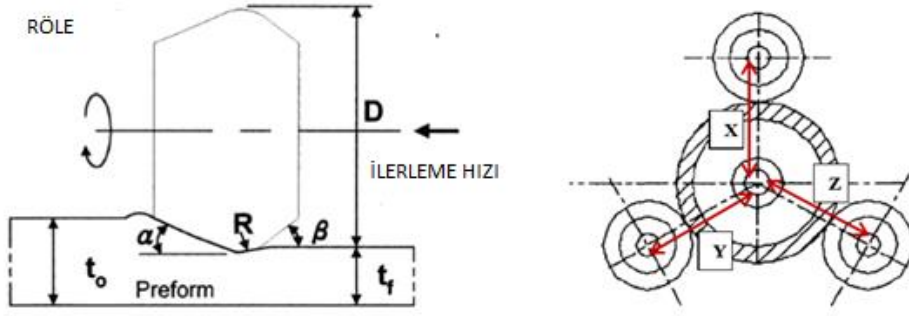
4.3. Boru Sıvama

İş parçasına sırasıyla % 50 ezme oranı ve % 80 ezme oranı uygulanarak et kalınlıkları düşürülmüştür. Bu yöntemin uygulanması boru üretimlerinde malzeme kaybının da en aza indirmesi açısından maliyet göz önüne alındığında en uygun yöntemlerden birisidir. Boru boyu kısa olduğu için forward sıvama yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil 4.3: Preform Malzemesi

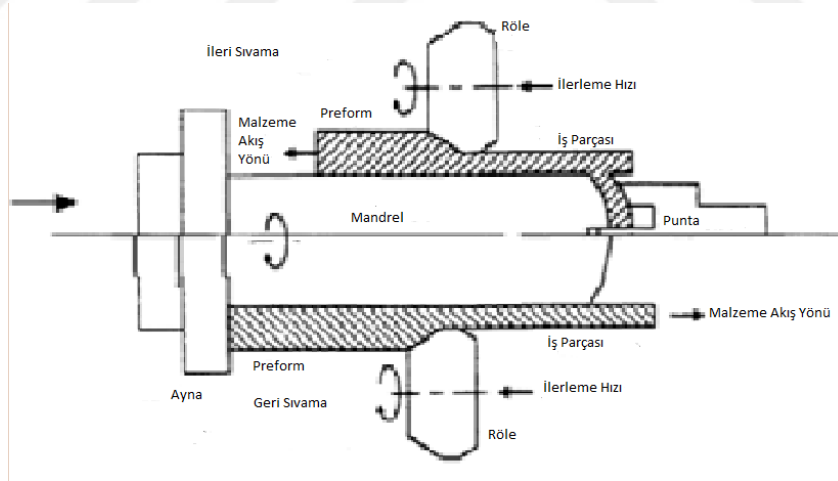
Sıvama yöntemi öncesi iş parçası şekildeki gibi üretilerek boru üretimi için iş parçası uygun bir forma getirilmiştir. Uygun mandrel ve röle seti seçimi yapılmıştır.



Şekil 4.4: Rôle Sayısı ve Açıları

Proses öncesinde, malzeme özelliklerine ve geometriye uygun parametreler belirlenmelidir. Bu parametreler şu şekildedir:

- Sıvama Mandreli çapı
- Sıvama Mandreli boyu
- Radius ve α , β açıları
- İlerleme Hızı (mm/d)
- Dönme Hızı (rpm)
- X,Y,Z roller mesafeleri



Şekil 4.5: İleri ve Geri Boru Sıvama Prosesi

Şekilde üst kısımda forward sıvama yönteminde belirtildiği gibi preform mandrele yerleştirildikten sonra preforma punta basarak preform ayna ve punta arasında eksenlenmiştir. Puntanın preforma basması ile mandrel ve preform beraber dönmeye başlamıştır. Rollerların ayna yönünde hareketi ile beraber sıvama mandreli ok yönünde dönmeye başlamıştır. Rollerlar önceden belirlenen parametreler ile

preforma yaklaşılarak preform malzemesinin et kalınlığı düşürülmüş ve ayna tarafına doğru preform malzemesinin mandrel üzerinden akması gerçekleşmiştir. Roller ile mandrel arasındaki mesafeler preform malzemesinin et kalınlığını % X ve % 1,6 X azaltacak şekilde ayarlanmıştır ve işlem sonunda üretilen boru üzerinde % X ve % 1,6 X oranlarında ezme uygulanmış kısımlar elde edilmiştir. Boru sıvama prosesi boyunca rollerlar ve işlem gören kısım soğutma sıvısı ile soğutulmuştur. Elde edilen bu kısımların boyları 5'er adet çekme testi numunesi çıkarmaya yetecek kadar uzunluktadır. İşlem sonrası üretilen borunun farklı noktaları ultrasonik et kalınlığı ölçme ekipmanı ile ölçüm yapılarak et kalınlıklarının istenilen oranda düştüğü teyit edilmiştir.



Şekil 4.6: Sıvama Sonrası Boruya Ait Görsel

Şekilde, 1 ile gösterilen kısma % 1,6 X ezme oranı uygulanmış, 2 ile gösterilen kısma da % X ezme oranı uygulanmıştır. Et kalınlığı farkından kaynaklı yükseklik 1 ile 2 arasında net olarak gözükmemektedir.

4.4. Yaşlandırma Isıl İşlemi

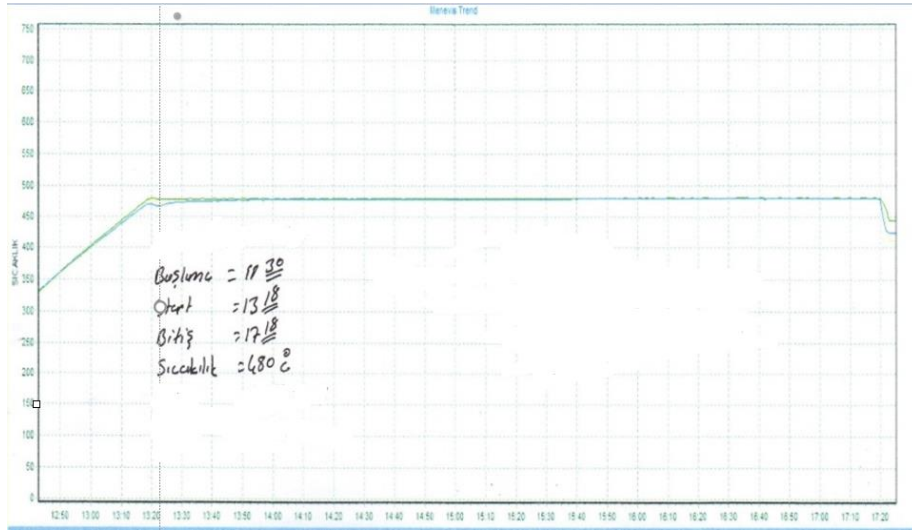
Sıvama sonrası parçaya açık atmosferde AMS 2759/3 standardına göre 480 °C' de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmıştır. Parça dik olarak fırına yerleştirilmiştir. Açık atmosfer olduğundan dolayı ısıtıl işlem sonrası parça yüzeyinde oksidasyon tabakası oluşmuştur.



Şekil 4.7: Isıl işleme Girerken Fırına ve Boruya Ait Görsel



Şekil 4.8: Isıl İşlem Sonrası Boruya Ait Görsel



Şekilde ısıtım işlem grafiğinde görüldüğü gibi sıvanan boru ısıtım rampası sonrası 4 saat 480 °C’de tutulmuştur.

4.5. Çekme Testi



Şekil 4.10: Çekme Test Kuponlarının Çıkarıldığı Yerler

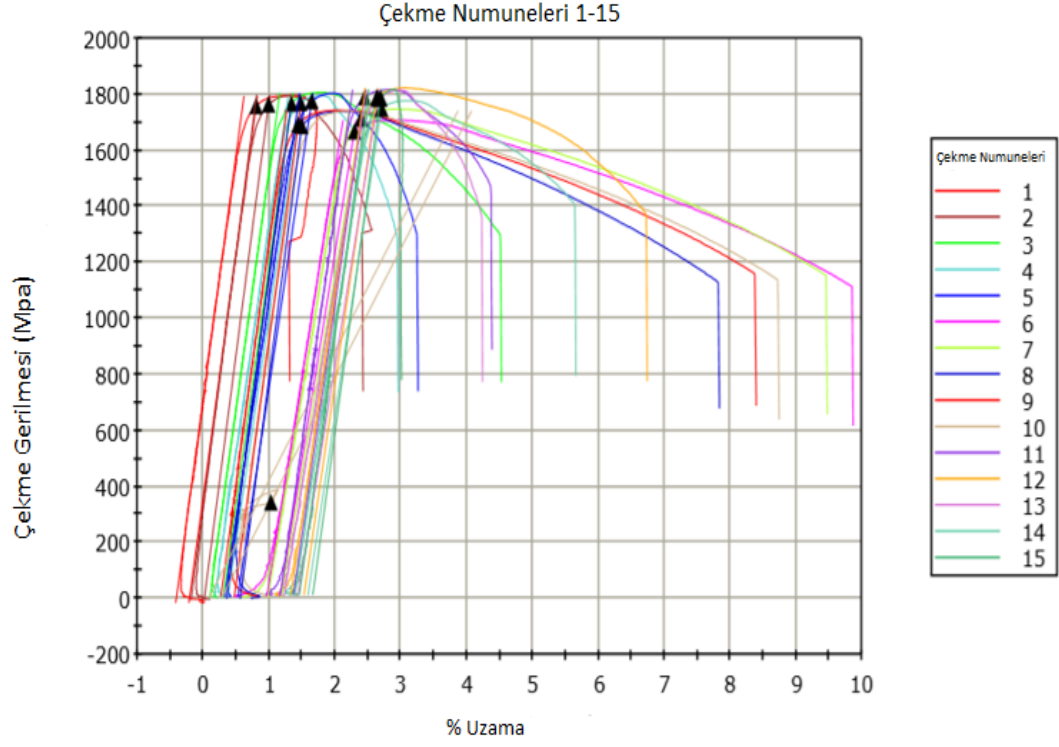
- Isıl işlem sonrası 5 adet ön, 5 adet arka ve 5 adet orta bölümden toplam 15 adet çekme testi kuponu çıkarılmıştır.
- Ön ve arka bölümden çıkarılan kuponlar % 1,6 X ezme oranına sahip orta bölümden çıkarılan kuponlar ise % X ezme oranına sahiptir.

Çekme testi kuponları ASTM E8/8M standardına göre çıkarılmış ve INSTRON 5985 model çekme testi ekipmanında çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 4.11: Instron 5985 Çekme Testi Ekipmanı.

15 adet çekme test kuponuna ait çekme testi sonuçları sonrası elde edilen gerilme&gerinim grafiği şu şekildedir. 1-5 ve 11-15 arası kuponlar % 1,6 X ezme oranı ile elde edilen kısma ait iken 6-10 arası numaralandırılan kuponlar ise % X ezme oranına sahip kısımdır.



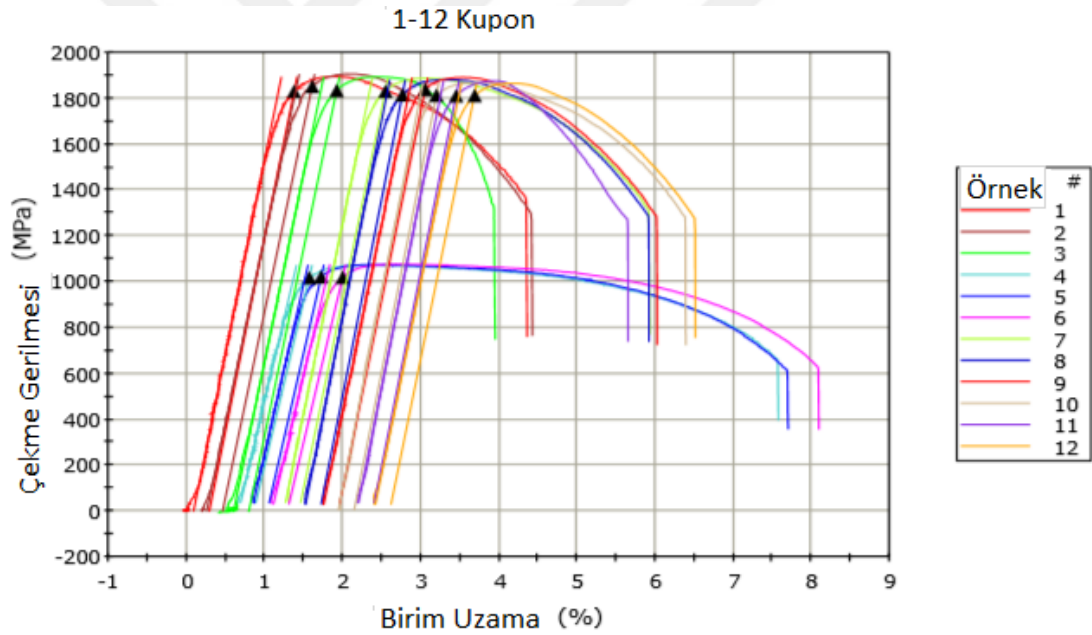
Şekil 4.12: Kuponlara Ait Çekme Gerilmesi& % uzama grafikleri

Tablo 4.2: Farklı Ezme Oranına Ait Kuponlara Ait Çekme Testi Değerleri

Numune	Maximum Kuvvet (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama	EzmeOranı
1	16,81	1793	1757	1,5	1,6x %
2	16,84	1797	1762	2,4	1,6x %
3	16,92	1804	1765	4,2	1,6x %
4	17,01	1794	1768	2,6	1,6x %
5	16,79	1802	1774	2,8	1,6x %
6	33,52	1707	1667	9,3	X %
7	34,21	1746	1712	8,8	X %
8	33,96	1739	1686	7,1	X %
9	33,91	1742	1691	7,5	X %
10	34,19	1739	1680	7,7	X %
11	16,91	1815	1788	3,3	1,6X %
12	16,85	1821	1789	5,5	1,6X %
13	16,86	1813	1782	3	1,6X %
14	16,65	1776	1748	4,2	1,6X %
15	16,62	1817	1785	1,5	1,6X %

Tablo 4.3: Maraging 250 Kalite Çelikte Ezme Oranlarına göre Ortalama Çekme, Akma Mukavemet Değerleri ve % uzamalar

Malzeme	Numune Bölgesi	Ort. Çekme Mukavemeti (MPa)	Ort. Akma Mukavemeti (MPa)	Ort. Uzama (%)
Maraging 250	Kalın Kesit (%X Ezme)	1734	1687	8,08
	İnce Kesit (% 1,6 X Ezme)	1803	1771	3,1



Şekil 4.13: Çözeltiye alınan ve farklı sürelerde yaşlandırma ısı işlemi yapılan test kuponlarına ait Çekme Gerilmesi & % uzama grafiği

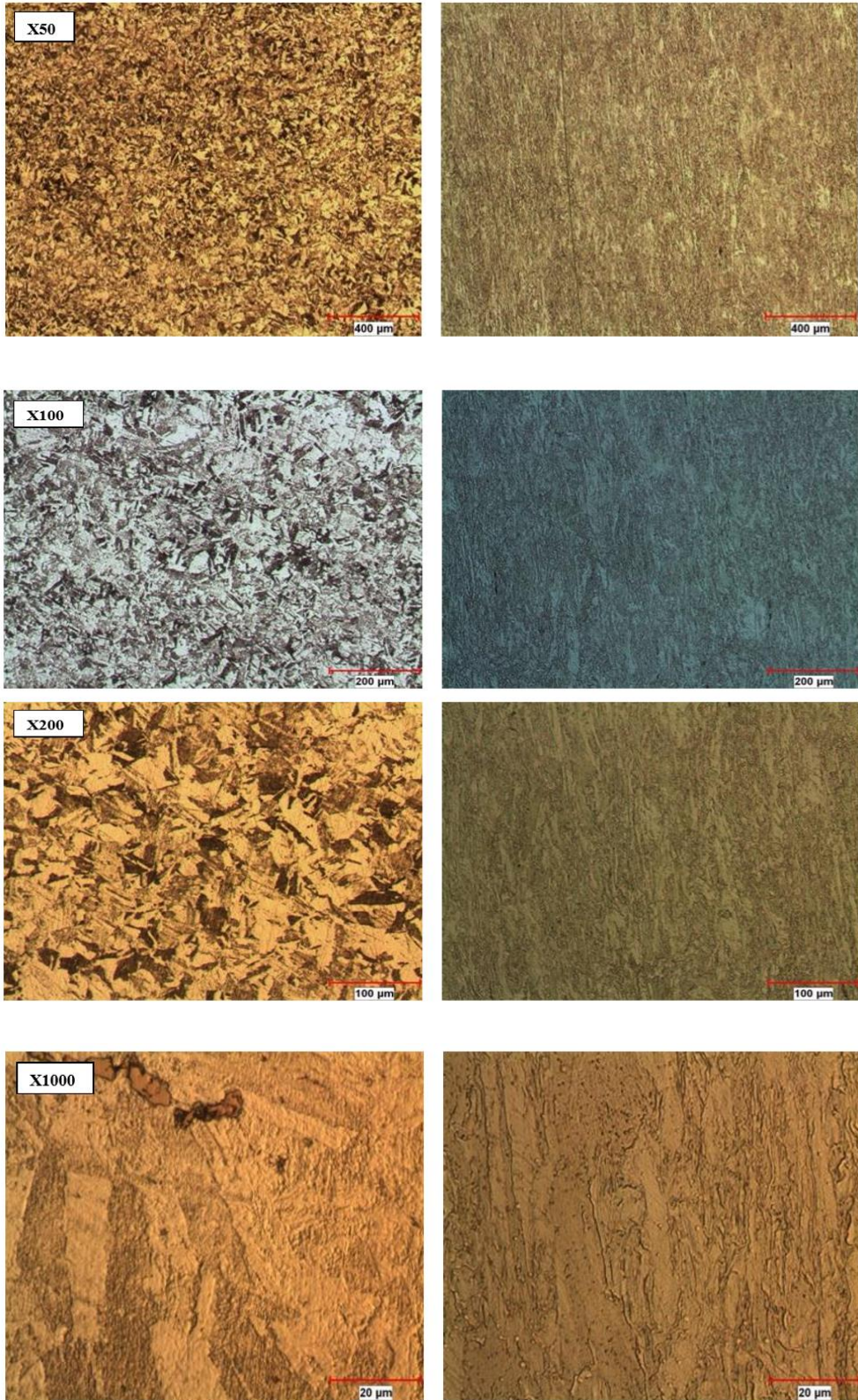
Tablo 4.4: Maraging 250 Kalite Çelikte çözeltiye alma sonrası ve farklı sürelerde yaşlandırma ısı işlemleri yapılan test kuponlarına ait Ortalama Çekme, Akma Mukavemet Değerleri ve % uzamalar

Isıl İşlem Durumu	Ort. Çekme Mukavemeti (MPa)	Ort. Akma Mukavemeti (MPa)	Ort. Uzama (%)	Kupon Sayısı
Çözeltiye Alınmış	1074	1021	6,86	3
480 °C 4 saat yaşlandırılmış	1895	1837	3,98	3
480 °C 6 saat yaşlandırılmış	1883	1825	4,36	3
480 °C 8 saat yaşlandırılmış	1867	1810	3,92	3

4.6. Mikroyapı İncelemeleri

4.6.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Motor gövdesi üretiminde kullanılan Maraging 250 çeliğinin mikroyapısını incelemek ve sıvama/yaşlandırma işleminin mikroyapı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla; çözündürme tavlama (solution annealed) uygulanmış durumdaki ham malzemedan ve sıvama + yaşlandırma ısı işlemleri uygulanmış motor gövdesinden numune çıkartılarak optik mikroskop da mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Sıvama sonrası, sıvama yönüne paralel olarak mikro yapıda yönelmeler olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14: Çözündürme ve Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Optik Mikroskop İle Elde Edilen Görüntüler

4.6.2. SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri

Üretim süreçlerinde aşağıda belirtilen proseslerden geçmiş olan parçalar SEM ile incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır. SEM cihazı FEI marka Nova Nanosem 430 modelidir.

- Çözeltiye alma (820°C)
- Çözeltiye alma + Yaşlandırma (482 °C 4 saat)
- Çözeltiye alma + Sıvama + Yaşlandırma (482 °C 4 saat)

İnceleme öncesinde numune hazırlığında ilk olarak %2 Nital solüsyonu ile dağlama işlemi yapılmıştır fakat numune 1 dk dağlanmasına rağmen uygun görüntüler alınamamıştır. Sonrasında, parçanın hangi solüsyonda dağlanması için literatür araştırması yapılmıştır. “ Metals Handbook Ninth Edition Volume 9 Metallography and Microstructures” kitabının 282. sayfasında martensitik ve çökelme sertleşmesi olan çelik kalitelerine uygulanan “FRY’s reagent” solüsyonu hazırlanarak dağlama işlemi yapılmıştır. Solüsyona ait içerik ve solüsyonun görseli şu şekildedir:

FRY’s ayırıcı: 5 g CuCl_2 , 40 mL HCl, 30 mL H_2O , 25 mL ethanol

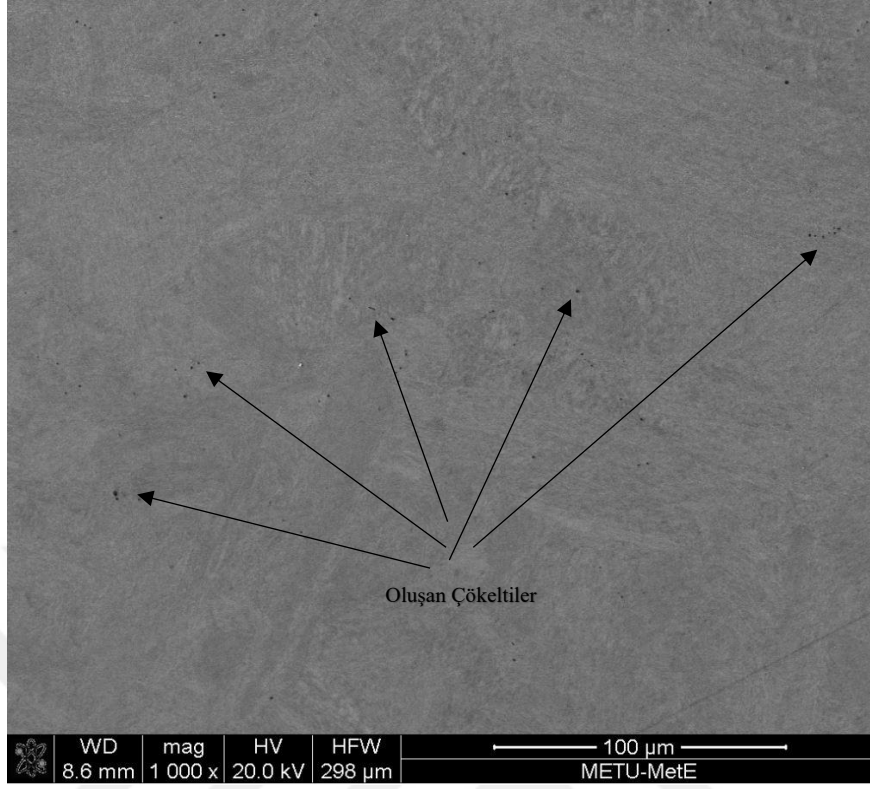


Şekil 4.15: Fry’s Ayırıcı

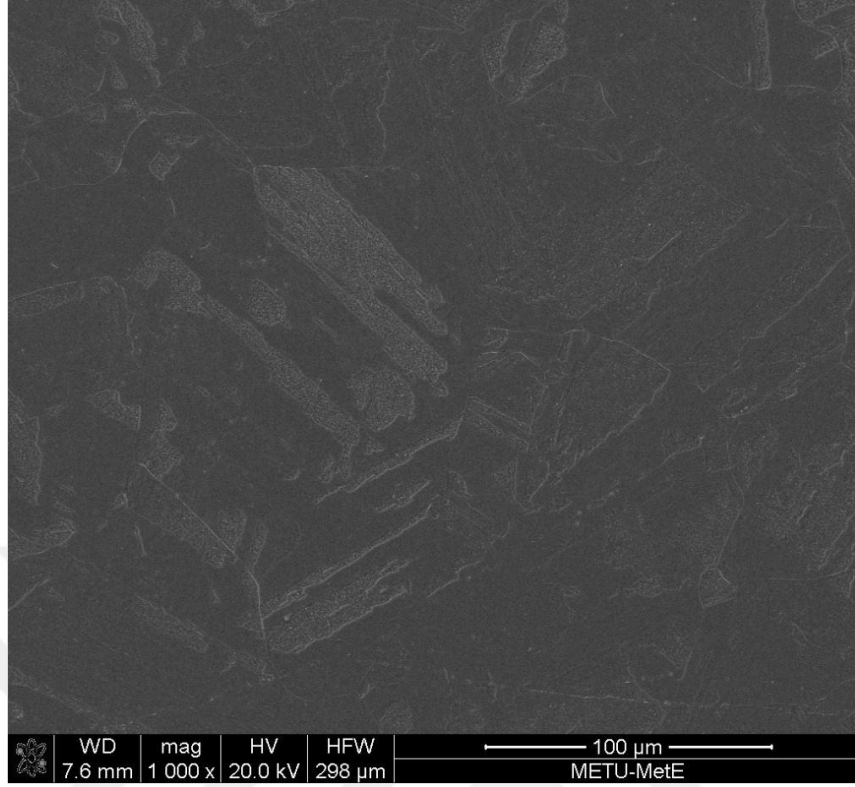
Dağlama sonrası alınan SEM görüntülerine ilişkin görseller, çökeltilerin boyutları ve matrise ve çökeltilerden alınan EDS analizlerine ilişkin sonuçlar kullanılan SEM ekipmanı ile beraber aşağıda resmedilmiştir.



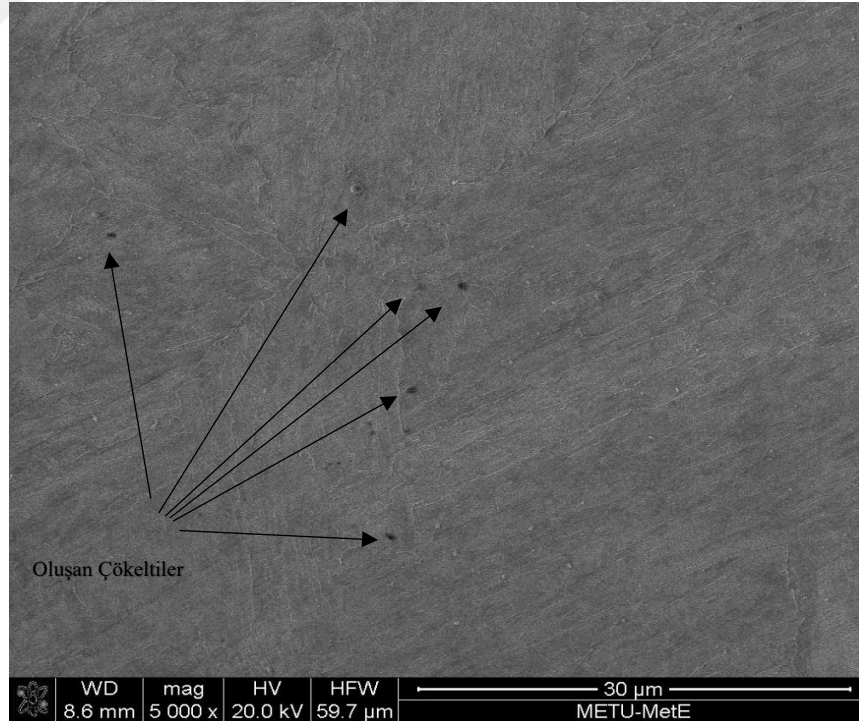
Şekil 4.16: Nova Nanosem 450



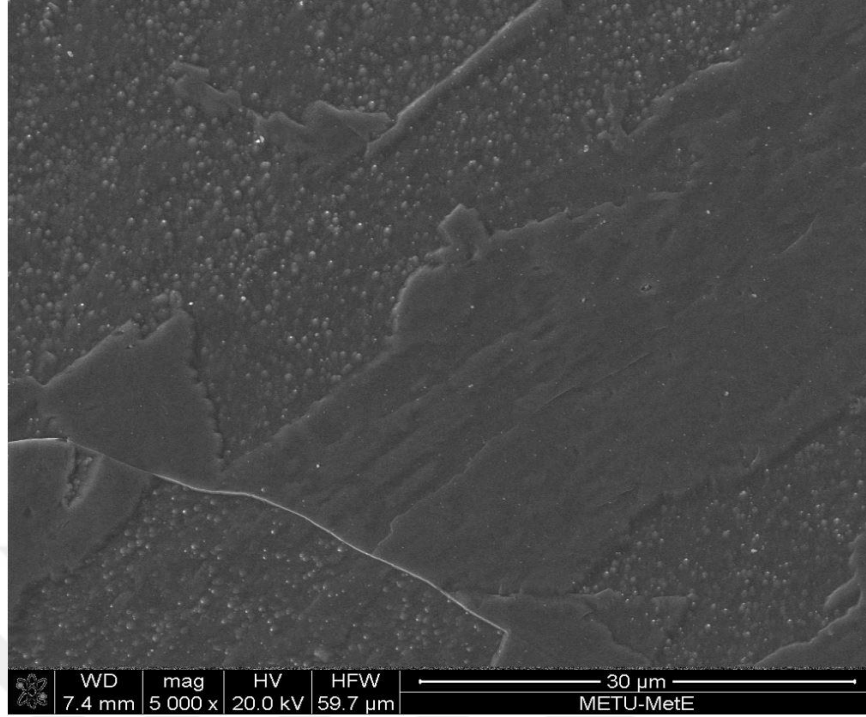
Şekil 4.17: Yaşlandırma Sonrası SEM görüntüsü x1000.



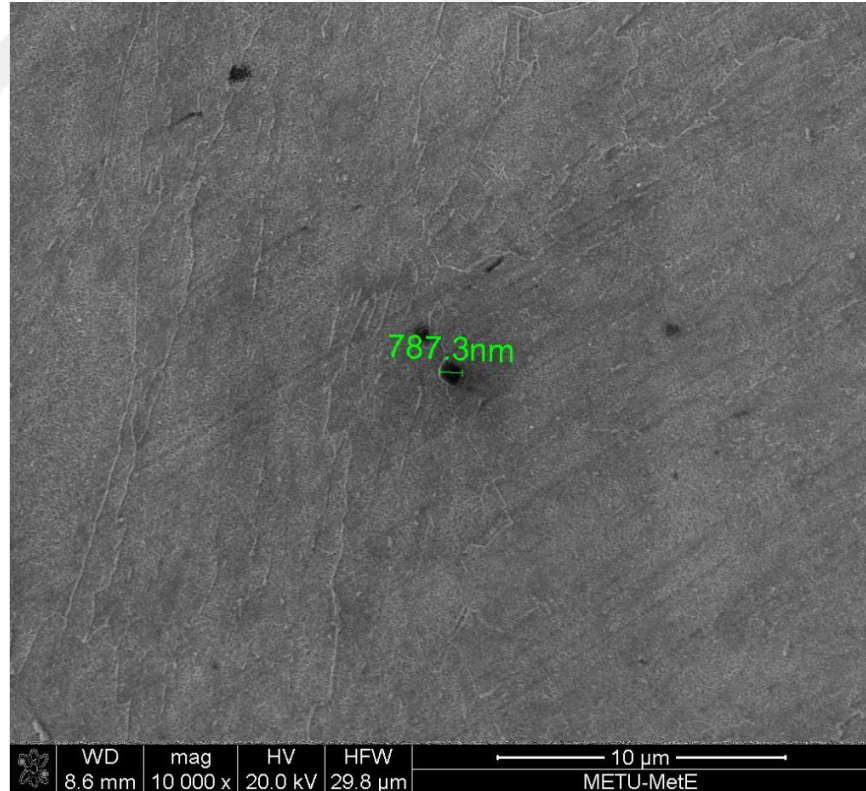
Şekil 4.18: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x1000.



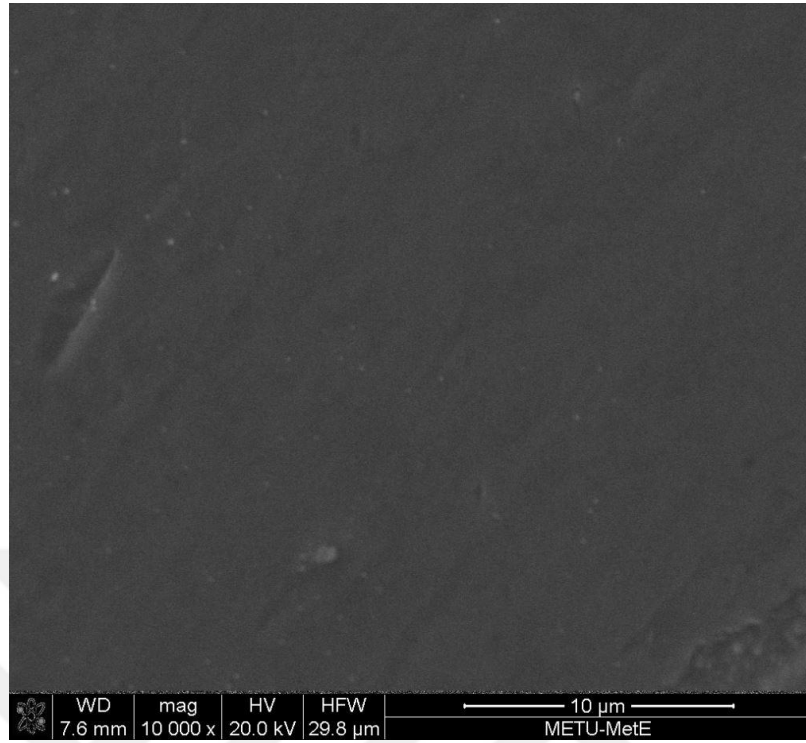
Şekil 4.19: Yaşlandırma Sonrası SEM görüntüsü x5000



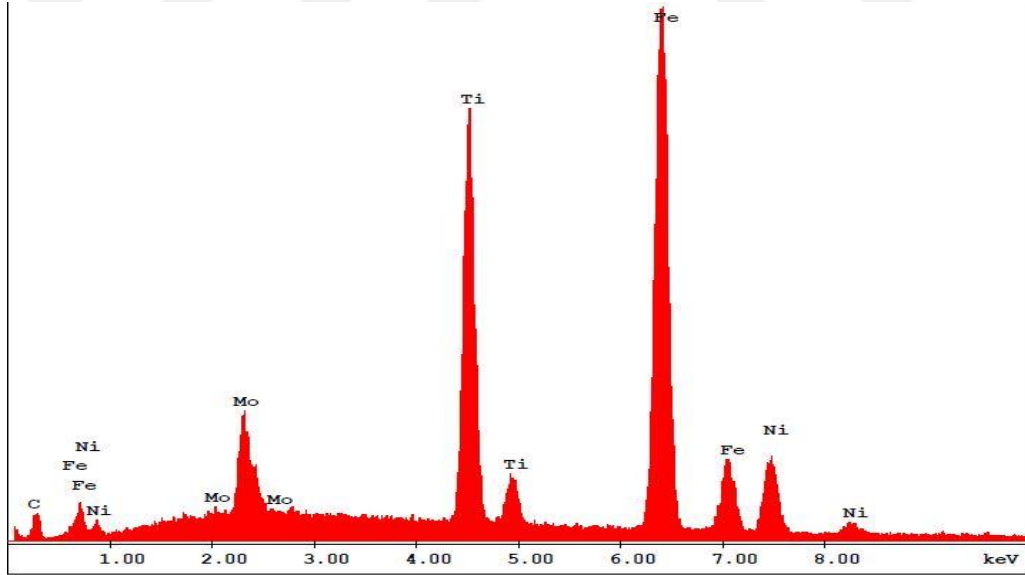
Şekil 4.20: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x5000



Şekil 4.21: Yaşlandırma Sonrası 2. Faza ait SEM görüntüsü ve büyüklüğü x10000.



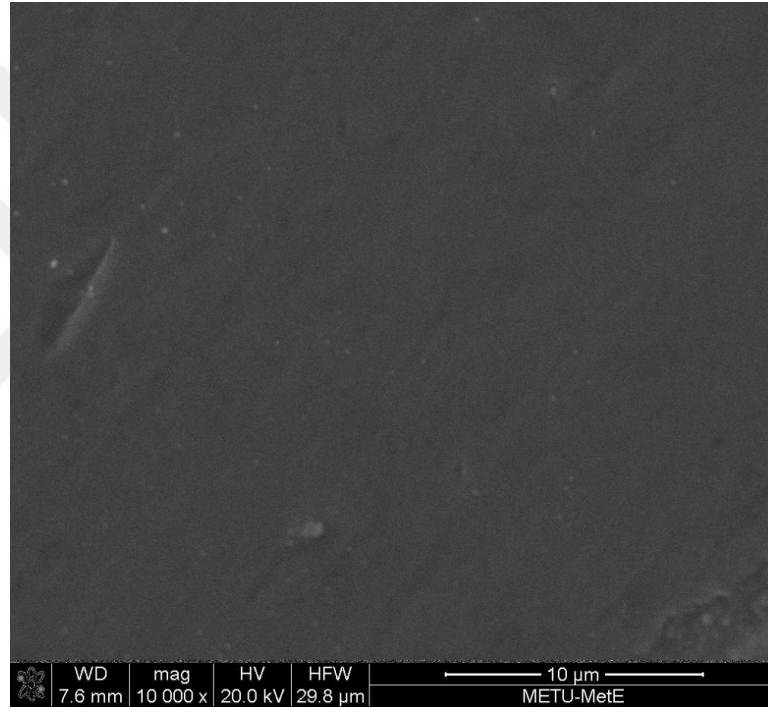
Şekil 4.22: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x10000.



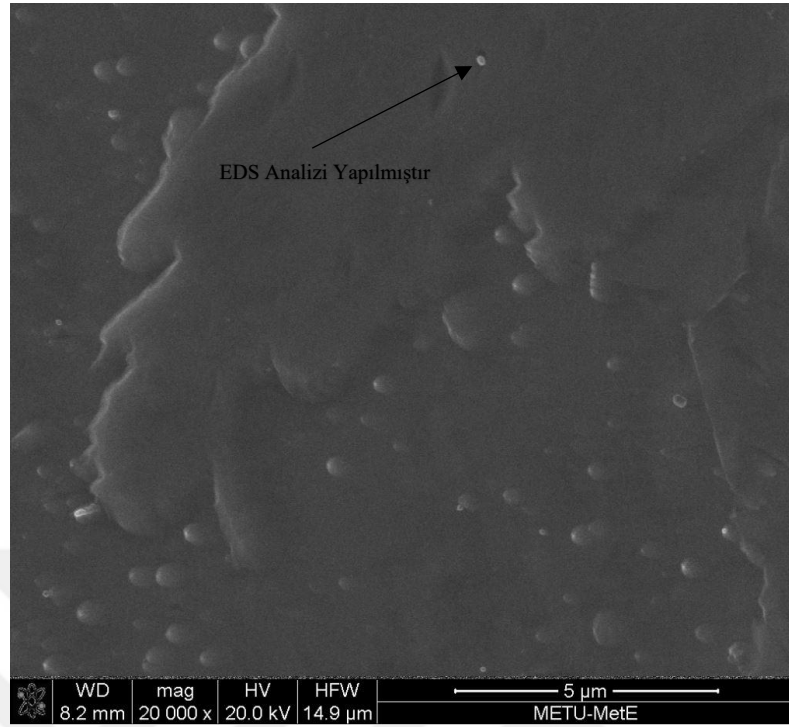
Şekil 4.23: Yaşlandırma Sonrası şekil 4.6 - 8 görülen 2. Faza ait EDS analizi.

Tablo 4.5: EDS analizi ile elde edilen elementlere ait % ağırlık.

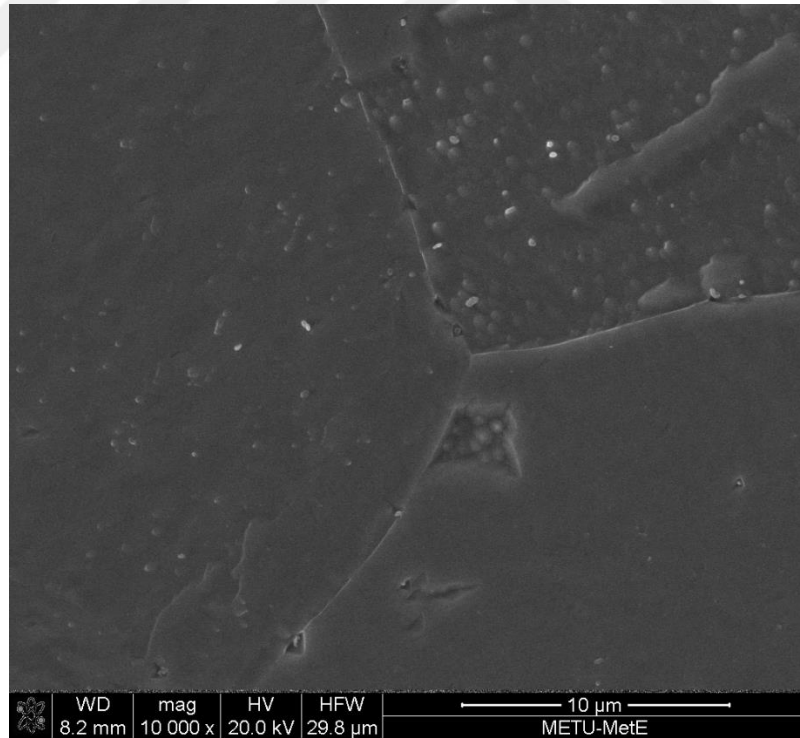
Element	% Ağırlık
Mo	8,55
Ti	21,14
Fe	57,44
Ni	12,87
Toplam	100



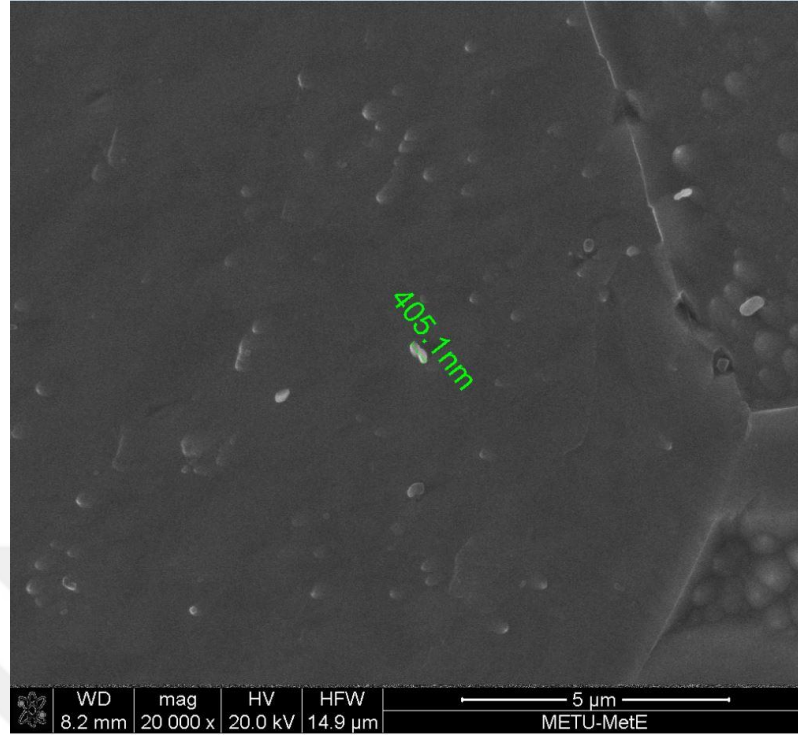
Şekil 4.24: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x10000.



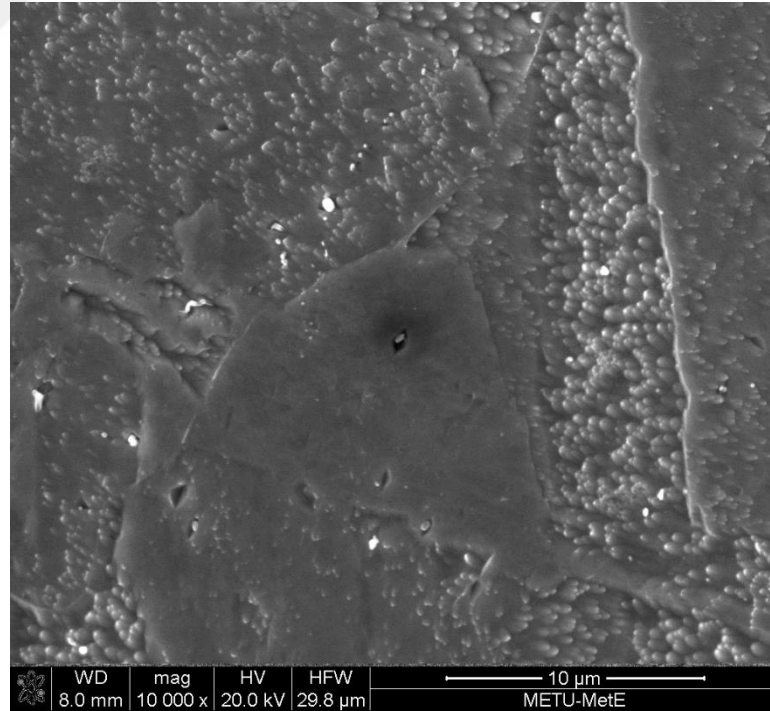
Şekil 4.25: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x20000.



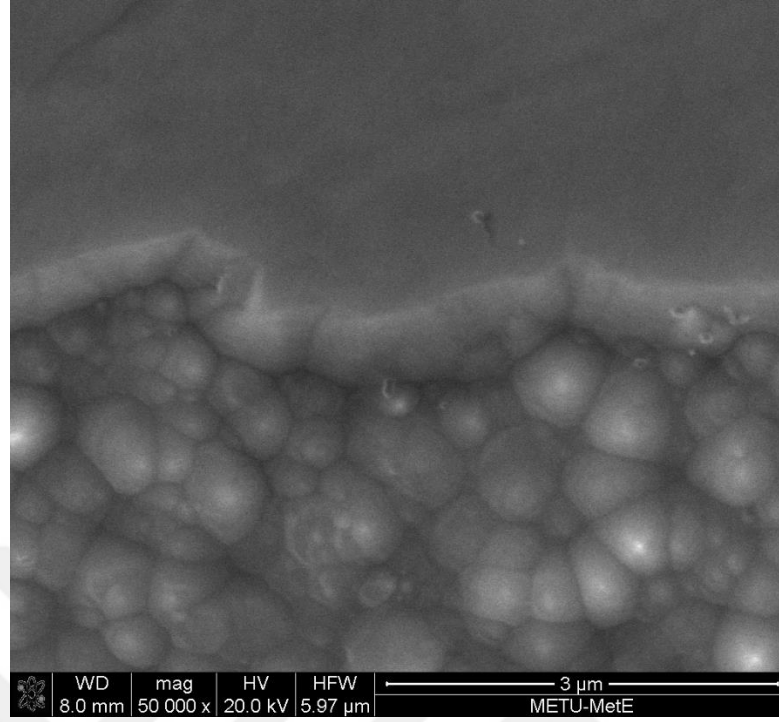
Şekil 4.26: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x10000.



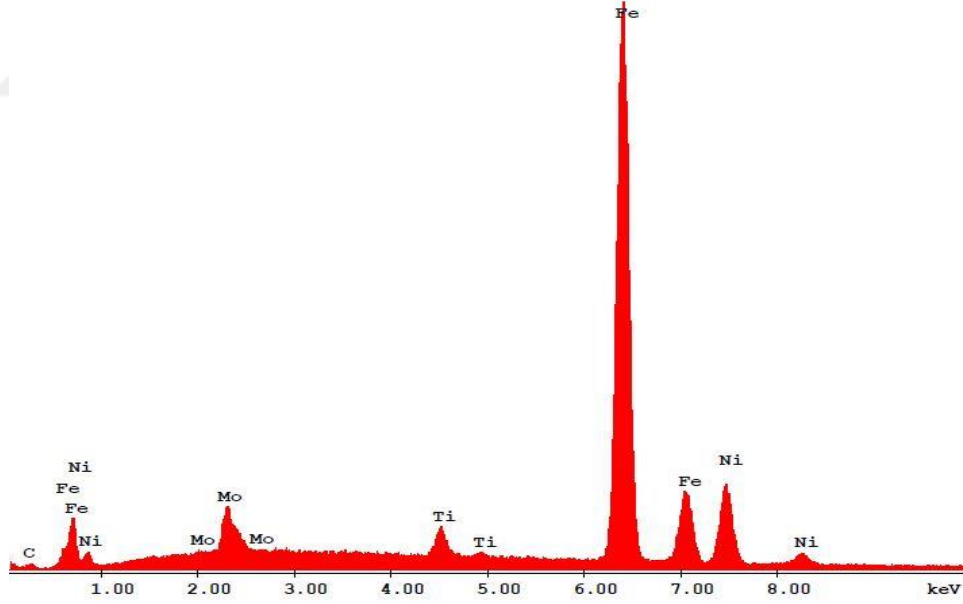
Şekil 4.27: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüsü x20000.



Şekil 4.28: Yaşlandırma Öncesi SEM görüntüleri x10000.



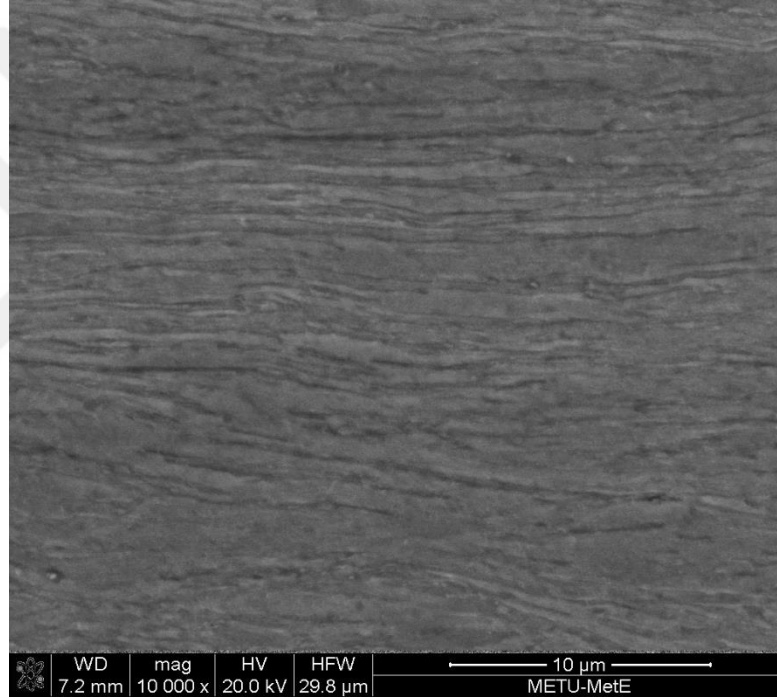
Şekil 4.29: Yaşlandırma Öncesi SEM Görüntüleri x50000.



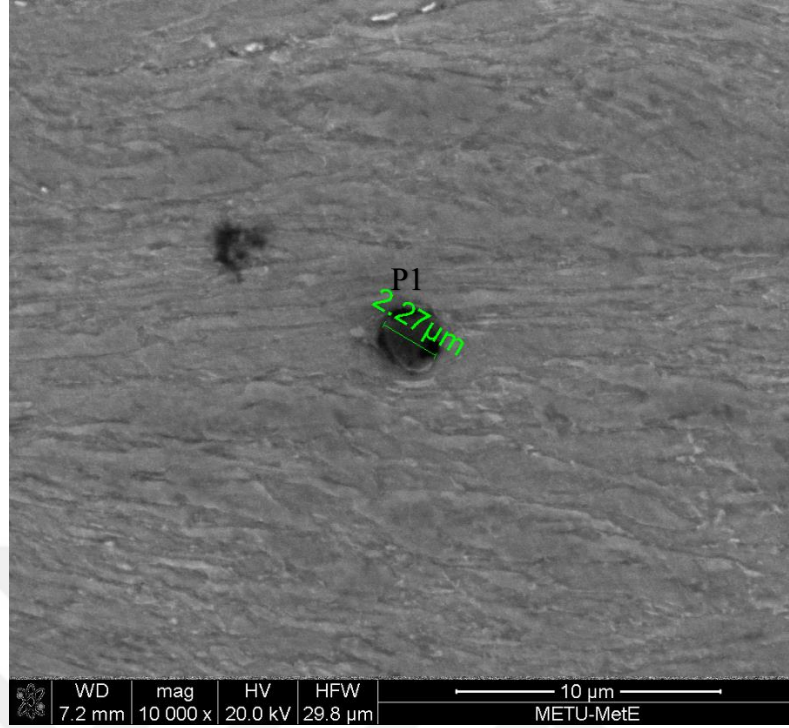
Şekil 4.30: Şekil 4.29 da gösterilen kısma ait EDS Analizi.

Tablo 4.6: EDS analizi ile elde edilen elementlere ait % ağırlık.

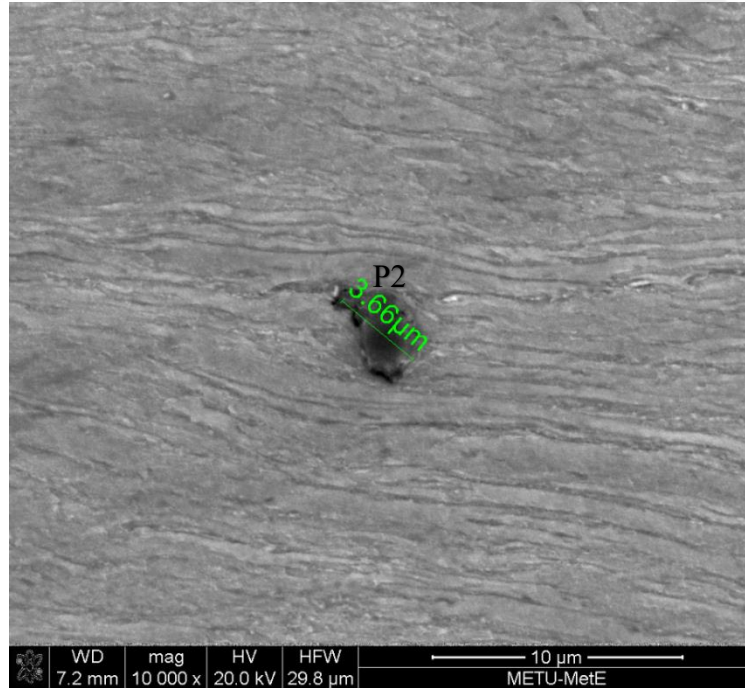
Element	% Ağırlık
Mo	5,25
Ti	1,88
Fe	75,56
Ni	17,27
Toplam	100



Şekil 4.31: Sıvama + Yaşlandırma Sonrası SEM Görüntüleri x10000.



Şekil 4.32: Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P1) ait görüntü ve boyutu x10000



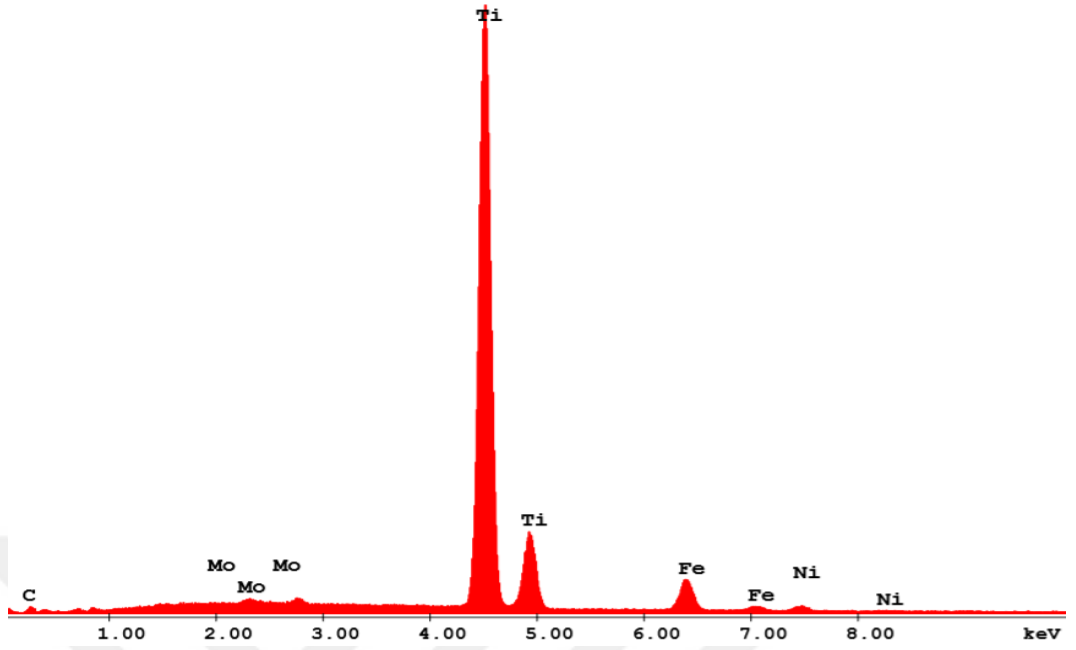
Şekil 4.33: Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P1) ait görüntü ve boyutu x10000.



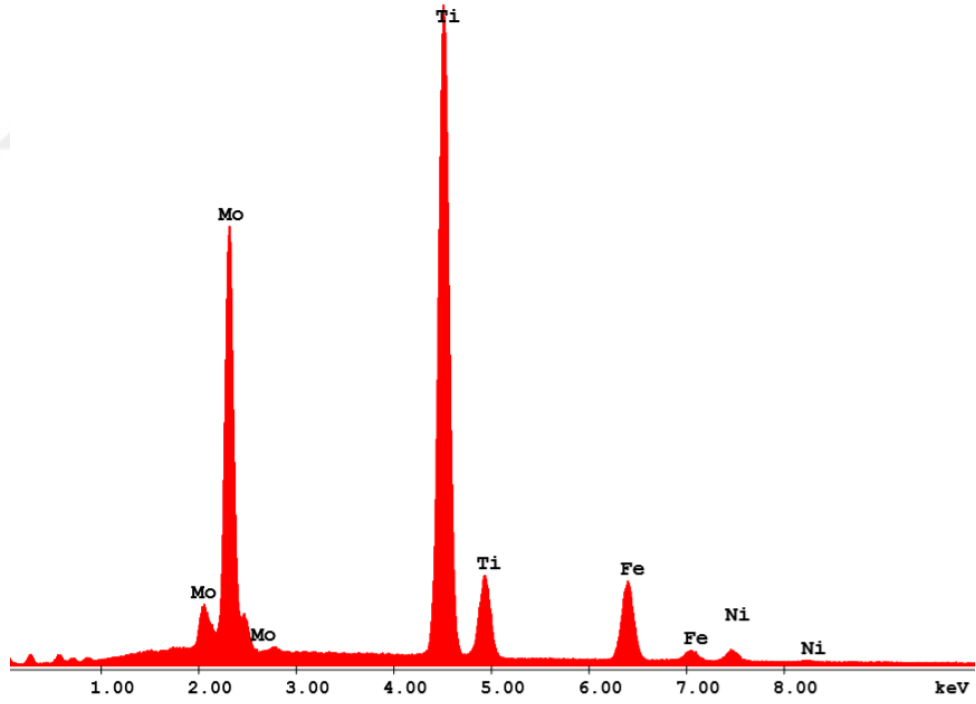
Şekil 4.34: Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P3) ait görüntü ve boyutu x10000.



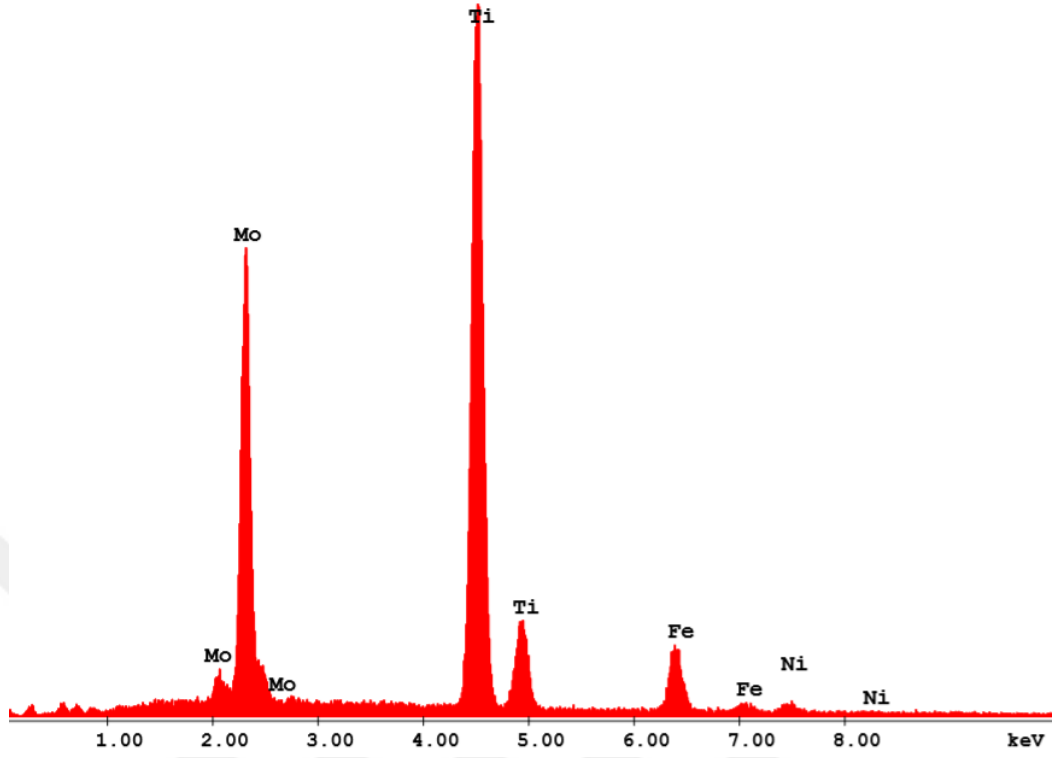
Şekil 4.35: Sıvama + Yaşlandırma Sonrası Tane İçinde 2. Faza (P3) ait görüntü ve boyutu x4000.



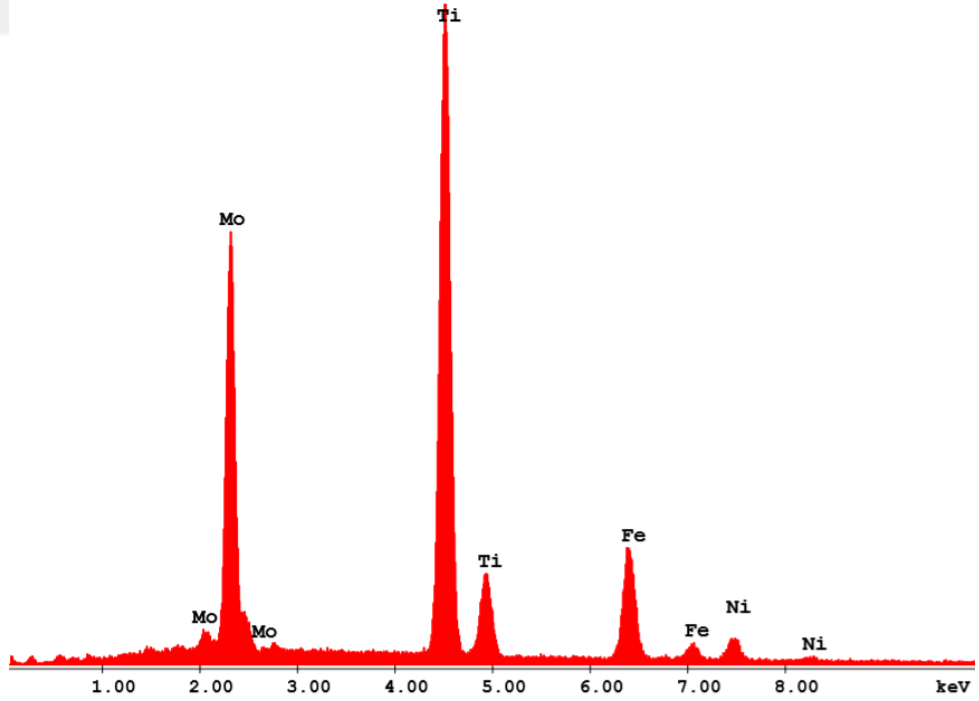
Şekil 4.36: P1 e ait EDS Analizi.



Şekil 4.37: P2' ye ait EDS Analizi.



Şekil 4.38: P3'e ait EDS Analizi.



Şekil 4.39: P4' e ait EDS Analizi.

Tablo 4.7: Farklı noktalara yapılan EDS Analizlerine Göre Tane İçlerindeki Elementlerin % Ağırlık Oranları

Şekil	EDS Analizi Yapılan yer	% Ağırlık				
		Al	Mo	Ti	Ni	Fe
5.6-18	Matris	0,72	4,72	1,72	18,6	74,08
5.6 - 19	P1	-	1,06	86,54	2,22	10,19
5.6- 20	P2	-	36,49	49,46	2,37	11,68
5.6 -21	P3	-	36,99	51,74	1,93	9,33
5.6 -22	P4	-	36,41	46,04	15,34	4,21

5. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Öncelikle temin edilen maraging 250 kalite çeliğin kimyasal kompozisyon analizi yapılarak temin edilen çeliğin MIL-S-47319 standardına uygun olduğu görülmüştür, ayrıca sertlik ve sertleşebilirlik testleri yapılarak temin edilen parçanın ve yaşlandırma ile sertlik kazandırılan parçanın sertlik değerlerinin MIL-S-47319 standartına uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmada çözeltiye alınmış kobalt içermeyen maraging 250 kalite çeliğe flowforming üretim yöntemi ile % x ve % 1,6 x oranlarında cidar azaltılarak sıvanmış sonrasında yaşlandırma ısı işlemleri uygulanmıştır. Yaşlandırma ısı işlemi AMS 2759/3D standardında belirtildiği gibi 482°C/4 saat olarak uygulanmıştır. Yaşlandırma ısı işlemleri sonucunda % x ezme oranı ile et kalınlığı inceltiren kuponlara ait ortalama çekme mukavemeti 1733 Mpa gelirken % 1,6 x ezme oranı ile et kalınlığı azaltılan kuponlara ait ortalama çekme mukavemeti 1803 Mpa gelmektedir. Akma mukavemetleri de % x ve % 1,6 x et kalınlığı azaltılmış malzemelere ait kuponlarda sırası ile 1689 Mpa ve 1771 Mpa gelmektedir.

% uzamalar incelendiğinde sırası ile % x ve % 1,6 x et kalınlığı düşürülmüş parçalara ait ortalama % uzamamalar %8,17 ve %3,17 olarak gerçekleşmiştir.

Parçaya uygulanan ezme oranı arttıkça akma ve çekme mukavemetlerinde ciddi bir artış gözlemlenmektedir.

920 °C de çözeltiye alınmış malzemenin çekme testi sonuçlarına göre yaşlandırma sonrası çekme mukavemetinde % 80 (1007-1820) artış meydana gelmiş olup % uzama miktarında %45 (14-7,8) düşüş meydana gelmiştir.

Yaşlandırılmış numuneye ait SEM görüntülerinde

- Matrisin çözündürme sonrası martensit fazında olduğu
- Nikel oranı zengin fazlar olduğu
- Matriste martensite dönüşemeyen kalıntı östenitlerin bulunduğu
- Mo ve Ti olarak zengin intermetalik bileşikler olduğu görülmektedir.

Maraging çeliklerinde soğuk şekillendirme mekanik özelliklerin gelişmesinde katkıda bulunmuştur fakat temel iyileştirici etki uygulanan yaşlandırma ısıl işlemidir.

Sertlik, 2. Fazların çökmesi nedeniyle 482°C/4 saat yaşlandırma ısıl işlemi ile 52-53 HRC değerlerine kadar ulaşmaktadır. Matris de oluşan çökeltiler dislokasyon hareketlerini sınırlandırarak sertliği, akma ve çekme mukavemetlerini artırmaktadır. Dislokasyon hareketlerini incelemek için TEM incelemelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Östenit fazı ymk(yüzey merkezli kübik) yapıda olup, sünek bir yapıdır. Mikroyapıda kalıntı östenit bulunması malzemenin sünekliğini artırarak çekme ve akma mukavemetini düşürmektedir. Maraging çeliklerinde, yaşlandırma sonrası maksimum çekme dayanımını ve sertliği sağlamak için kalıntı östenit miktarını azaltmak gerekmektedir. Kalıntı östenit miktarını azaltmak için östenitten martensite dönüşüm sıcaklığının üzerinde yapılan çözeltiye alma ısıl işlemi tekrarlanabilir ve çözeltiye alma ısıl işlemi sonrası havada soğumadan daha hızlı soğuma ortamları kullanılabilir.

Sıvama ile taneler sıvama yönünde uzamaktadır.

Çözeltiye alma ısıl işlemi sonrası matriste martensit yapı görülmektedir. Maraging çeliklerinde %C oranı düşük olduğundan dolayı (~%0,02) sertlikle 34 HRC den düşük ölçülmüştür, bu sebeple çözeltiye alma ısıl işlem sonrası malzeme, soğuk şekillendirmeye uygun mekanik özelliklerdedir.

İçeriğinde bulunan düşük %C oranından dolayı, yaşlandırma sonrası tane içlerinde karbür çökelmelerine rastlanılmamıştır.

% C oranının yüksek olması (> 0,20 %) kaynak sonrası sertleşme çatlaklarına sebep olacağı için bu tür malzemeler kaynağa koşullu uygundur. İncelenen Maraging 250 kalite çeliğinde karbon oranının % 0,019 olması kaynaklanabilirlik açısından uygundur ve kaynak öncesinde herhangi bir ön ısıtma gerektirmemektedir.

KAYNAKÇA

- 18% Nikel Maraging Çelikleri, (2022). Alındığı yer: <https://www.varzene.com/tr/vdergi/18-nikel-maraging-celikleri> Erişim Tarihi: 29.11.2022.
- Aran, A. (2007-2008). *Malzeme Bilgisi. Bahar Ders Notları*. İTÜ Makine Fakültesi. <https://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/mal201.pdf>
- Aytaç, A., Işık, M. S., Çanakçı, B., Özdemir, T., Aztekin, K. & İpek, H. (2018). AISI 1008 1040 ve 4140 çeliklerinde ısıtıl işlem, karbon oranı ve alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 17 (2) , 139-165.
- Bir Çelik (2022). Alındığı yer: <https://bircelik.com/tr/kategori/maraging-300> Erişim Tarihi: 29.11.2022.
- Güleç, S. & Çakmakaya, M. (2013). Demir esaslı intermetalik malzemelere paslanmaz çelik, çelik ve alüminyum saplamaların kondansatör deşarjlı saplama kaynağı ile birleştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13 (2) , 1-9.
- Gür, A.K. (2009). *Plazma (pta) yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzey modifikasyonuna koruyucu gazların etkisi*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kılıç, S. & Al, A. (2013). *Östenitik çeliğin soğutulmasındaki yapı dönüşümleri*. Mühendislik Projesi 1-2. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sivas.

Malzeme Bilimi (2022). Alındığı yer: <https://malzemebilimi.net/maraging-celigi-nedir-kullanim-alanlari-nerelerdir.html> Erişim Tarihi: 29.11.2022.

Maraging 300 (2022). Alındığı yer: <https://bircelik.com/tr/kategori/maraging-300> Erişim Tarihi: 29.11.2022.

MEB (2011). *Ac Motorlar*. Uçak bakım. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ac%20Motorlar.pdf

MMO, (2022). *Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik sacların (advanced high strength steel, ahss) şekillendirilmesinde takım çeliklerinden beklenen özellikler*. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf

Motorcu, A. R. (2009). Nikel esaslı süperalaşımların ve titanyum alaşımlarının işlenebilirliği 1. Bölüm: sinterlenmiş karbür takımların performanslarının değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 25 (1) , 302-330.

Öndin, O. (2019). *Ph 13-8 mo çeliğinin tornalanmasında mql sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin işleme çıktıları üzerindeki etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özer, A. (2010). Çeliklere uygulanan trip işlemi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2 (3), 291-301.

Rigon, d., Meneghetti, G., Görtler, M., Cozzi, D., Waldhauser, W. & Dabalà, M. (2018). Influence of defects on axial fatigue strength of maraging steel specimens produced by additive manufacturing, MATEC Web Conf, 165, 2–8.

Tayanç, M. & Zeytin, G. (2000). Yüksek hız çeliklerinin iç yapı ve ısıtıl işlem özellikleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1), 103-122 .

Total Materia, (2023). Alındığı yer:
<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=231>
31 Erişim Tarihi: 05.02.2023

Yeşildal, R. (2022). Farklı ısıtıl işlemlerin takım çeliklerinin yorulma mukavemeti üzerine etkileri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (3), 888-895.

Yıldız Teknik Üniversitesi, (2022). *Metallerin Plastik Şekillendirilmesi*.
file:///C:/Users/Acer/Downloads/P%C5%9EV%201.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KELEŞTİMUR, Furkan

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri :

Telefon :

e-mail :

Eğitim

Derece	Üniversite ve Bölüm	Mezuniyet Tarihi
Lisans	ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2013

Mesleki Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2016-...	Roketsan A.Ş. Mühendisi	Mekanik Aksam Üretim
2015-2016	Ceylan Grup Metal	Üretim-Planlama Mühendisi
2014-2015	Sarsılmaz Silah Sanayi A.Ş	Üretim Mühendisi
2013-2014	Panda Alüminyum A.Ş	Haddehane İşletme Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınları

-

Tezden Türetilen Yayınları/Sunumları-