

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİKTE FERROVANADYUM YERİNE NİTROVANADYUM KULLANIMININ
ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA İLE İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSA KESKİN

OCAK 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİKTE FERROVANADYUM YERİNE NİTROVANADYUM KULLANIMININ
ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA İLE İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsa KESKİN

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Nihal EKMEKÇİ

ZONGULDAK

Ocak 2017

KABUL:

İsa KESKİN tarafından hazırlanan “Çelikte Ferrovanadyum Yerine Nitrovanadyum Kullanımının Elektriksel Aşındırma İle İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 12/01/2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nihal EKMEKÇİ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mehmet BOY

Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

....../....../2017



Prof. Dr. Baki HAZER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



İsa KESKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİKTE FERROVANADYUM YERİNE NİTROVANADYUM KULLANIMININ ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA İLE İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İsa KESKİN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nihal EKMEKÇİ

Ocak 2017, 65 sayfa

Çelikte alaşım elementi olarak kullanılan Vanadyum, östenit tane büyümesini sınırlar. Ayrıca güçlü bir karbür ve nitrür oluşturunucudur. Vanadyum; akma mukavemetini, tokluğu, sertliği ve temperleme sırasında çeliğin yumuşamaya karşı direncini önemli ölçüde artırmaktadır. Azotla bir araya gelerek uzama yaşlanması özelliğini zayıflatır. Çeliğe vanadyum ilavesi olarak kullanılan FeV pahalı bir ferro alaşımdır. İçeriğinde, Vanadyum ve Azot bulunan NV ise çeliğin mukavemetini artırır.

Elektriksel kıvılcımla işleme yöntemi, özellikle çok sert ve karmaşık geometrilere sahip malzemelerin işlenmesinde kullanılan alışılmamış bir imalat yöntemidir. Bu işleme yöntemi; dielektrik sıvı içerisinde bulunan iş parçası ile elektrot arasında oluşturulan ardışık kıvılcımların oluşturduğu termal ve elektriksel enerji geçişi esasına dayanmaktadır. Elektriksel darbelerin oluşturduğu kıvılcımların termal etkileri ile yüzeyden malzeme kaldırılmaktadır. Bu işleme metodunda; darbe akımı, darbe ve bekleme süresi, deşarj gerilimi, darbe karakteristiği, iş parçası, takım, dielektrik sıvı özellikleri gibi işlenen parçanın yüzey bütünlüğünü ve işlenebilirliğini doğrudan etkileyen birçok parametre mevcuttur.

ÖZET (devam ediyor)

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. bünyesinde, FeV yerine Nitrovanadyum kullanımı ile maliyet tasarrufu sağlanması ve yüksek mukavemetli çelik üretilebilirliğinin araştırılması amacı ile levha ve bobin ürün tiplerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında her iki alaşımlı çelik türünün elektriksel aşındırma ile işlenmesinin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elektriksel kıvılcımla işleme yönteminde etkin rol oynayan işleme parametreleri ve istenen fonksiyonel yüzey özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre FeV ve denemesi yapılan NV alaşımlı dökümler karşılaştırılmıştır. Buna göre NV alaşımlı çeliklerin akma ve çekme mukavemetleri daha yüksek , % uzama değerleri ise kısmen daha düşük olduğu görülmüştür. EKİ işlemine tabi tutulan numunelerin yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde, kullanılan gazyağı ve su dielektrik sıvılara bağlı olmaksızın, çeliğin alaşımlama tekniğinin pürüzlülük üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yapılan SEM analizlerinde ise NV ve FeV alaşımlı çeliklerde yüzey morfolojisi açısından büyük farklar gözlemlenememiştir. XRD analizlerinde her iki alaşımlı çelikler için yüzey faz yapısının elektriksel parametrelere bağlı bir değişime uğramadığı görülmüştür. EKİ'ye tabi FeV ve NV alaşımlı çelik numunelerin kesit mikroyapılarında gözlemlenen en önemli sonuç, EKİ sırasında meydana gelen katmanlar üzerindeki sertliklerdeki farklılaşmadır. Ayrıca derinliğe bağlı gerçekleştirilen GDOES ölçümlerinde takım elektrodundan yüzeye malzeme geçişi saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel Kıvılcım ile İşleme, EKİ, Yüksek Mukavemetli Çelikler, Nitrovanadyum, Ferrovanadyum.

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF NITROVANADIUM EFFECT INSTEAD OF FERROVANADIUM IN STEEL ON ELECTRICAL DISCHARGE MACHINABILITY

İsa KESKİN

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Nihal EKMEKÇİ

January 2017, 65 pages

Vanadium is used as an alloying element in steel which limits the growth of austenite grains. Moreover, it is a strong carbide and nitride constructor. Vanadium improves yield strength, toughness, hardness and resistance to softening at high temperatures of the material during tempering. Weakens strain aging when combined with Nitrogen. FeV as an additive in steel, is an expensive ferro-alloy. NV composed of nitrogen and vanadium which enhances the strength of the steel.

Electrical Discharge Machining (EDM) is a non-traditional production process especially used for machining very hard materials with complex geometries. This processing technique is based on consecutive thermal and energy transition between the work piece and the electrode by electrical sparks in dielectric liquid. Material is removed from the surface through thermal effects of electrical discharges. There are many process parameters like pulse current, pulse duration, pause duration, open gap voltage, pulse form, workpiece, tool electrode and dielectric liquid properties which affect the resultant surface roughness and machinability.

ABSTRACT (continued)

Eregli iron and steel works co. carried out trials on sheet steel and coil products to investigate the use of Nitrovanadium instead of FeV for manufacturability of high strength steel and cost savings. In this thesis, two types of alloyed steels are investigated comparatively according to the effect of electrical discharge machining. The effective parameters in electrical discharge machining method and determination of functional surface characteristics are intended.

FeV and NV are compared according to analysis. It is observed that, yield and tensile strength of NV alloyed steels are high and percent elongation is low partially. Independently de-ionized water or kerosene dielectric liquid, alloying technique of steels are not effective on surface roughness when surface roughness of EDM'ed samples are investigated. In SEM analysis, big differences are not observed in terms of surface morphology. It is observed that electrical parameters cannot cause phase change according to XRD analysis. The most important observed result in section microstructure of FeV and NV alloyed steel is the hardness variations on layers which are occurred during EDM. Also, material transition is determined in GDOES measurements according to depth.

Keywords: Electrical Discharge Machining, EDM, High Strength Steels, Nitrovanadium, Ferrovanadium.

Science Code: 625.02.05

TEŞEKKÜR

Çelikte nitrovanadyum ve ferrovanadyum kullanımının EDM ile işlenebilirliğine etkisinin incelenmesi konulu tez çalışmasında pek çok değerli insanın katkısı bulunmaktadır. Yüksek lisans süresince ve bu tez çalışmasının yürütülmesinde derin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bu çalışmanın her anında verdiği kıymetli katkılarından ve gösterdiği sabırdan dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Nihal EKMEKÇİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince gösterdiği yol haritası ve yönlendirmeler ile verimli çalışmalar yapılmasını sağlayan ve desteği yadsınamaz hocam Doç. Dr. Bülent EKMEKÇİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum. Tez süresince yapılan deneyler, analizler ve testlerde olan yoğun desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarım Dilara ÇİMEN, Zafer ÇETİN, Ekrem AKÇA ve Ebru TEZCAN'a teşekkürlerimi borç bilirim. Çalışmalarım için bana zaman ayırmamı sağlayan Erdemir Ar-Ge ailesine ve yöneticilerime teşekkür ederim. Ayrıca bu tezin yapılmasına olanak sağlayan Makine Mühendisliği Bölümü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Zorlu bir yolculuk olarak tanımladığım hayatımın yapıtaşlarından biri olan eğitim serüveninde de her zaman olduğu gibi yanımda olan desteğini esirgemeyen biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmayı yakın bir zamanda kaybettiğim babam Şeref KESKİN'e adıyorum.

Bu tez 2015-77654622-02 nolu BEÜ Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
İMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 ÇELİK ÜRETİMİ.....	1
1.1.1 BOF Prosesi	2
1.1.2 İkincil Metalürji Prosesi.....	4
1.1.3 Sürekli Döküm Prosesi	5
1.1.4 Sıcak/Soğuk Haddelme	7
1.1.5 Mikro Alaşım Çelikleri ve Çökelme Mekanizması	8
1.1.6 Çelikte Alaşım Elementleri ve FeV –NV Kullanımı	9
1.2 İMALAT YÖNTEMLERİ.....	11
1.2.1 Alışılmış İmalat Yöntemleri	11
1.2.2 Alışılmamış İmalat Yöntemleri.....	13
1.2.3 Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	14
1.2.4 Elektriksel Kıvılcım İle İşleme	15
1.3 ÇALIŞMANIN AMACI.....	18
 BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI	 19

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 3 DENEY DÜZENİĞİ ve YÖNTEM.....	23
3.1 NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE ELEKTROT SEÇİMİ.....	24
3.2 EKİ TEZGAHI	27
3.3 DİELEKTİRİK SIVILAR	28
3.4 ANALİZLERDE KULLANILAN CİHAZLAR	28
BÖLÜM 4 ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	33
4.1 NUMUNELERİN MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	33
4.2 EKİ YÜZEYLER	35
4.2.1 Yüzey Pürüzlülüklerinin İncelenmesi.....	35
4.2.2 Yüzey Topolojisi.....	35
4.2.3 X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD) ile İşlenen Yüzeylerin Analizi	44
4.3 KESİT ANALİZLERİ	46
4.3.1 Kesit Mikroyapıları.....	46
4.3.2 Derinliğe Bağlı Mikrosertlik Değişimleri.....	51
4.3.3 Glow Deşarj Optik Emisyon Spektrometre (GDOES) Analizleri	53
BÖLÜM 5 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	57
5.1 EKİ YÜZEYLER	57
5.2 KESİT İNCELEMELERİ.....	58
5.3 MİKROSERTLİK DEĞİŞİMLERİ VE GDOES	58
5.4 SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Bessemer bazık oksijen fırını	2
Şekil 1.2 Çeşitli ikincil metalürji işlemleri diyagramı	5
Şekil 1.3 Sürekli döküm prosesinin şematik gösterimi	6
Şekil 1.4 Sıcak haddeleme prosesinin şematik gösterimi	7
Şekil 1.5 Akım değişiminin malzeme kaldırma mekanizmasına etkisi	8
Şekil 1.6 Vanadyum nitrür çökelme mekanizmasına göre akma mukavemeti artması	9
Şekil 1.7 Darbe akımının oluşan krater geometrisi üzerindeki etkisi	16
Şekil 1.8 Darbe akımının ve geriliminin değişimi	17
Şekil 3.1 a) İşlenmek üzere kesilen numuneler b) Fırınlanmış numuneler	26
Şekil 3.2 Zımparalama ve parlatma cihazı	26
Şekil 3.3 Numunelerin işlenmesinde kullanılan bakır elektrot	26
Şekil 3.4 a) EKİ tezgahının genel görünümü b) Deiyonize suda işleme c) Gaz yağında işleme.	27
Şekil 3.5 Su arıtma cihazı.....	28
Şekil 3.6 Tylor Hopson yüzey pürüzlülük cihazı	28
Şekil 3.7 Taramalı elektron mikroskobu	29
Şekil 3.8 XRD cihazı.....	29
Şekil 3.9 a)Struers Diskoton-65 kesme cihazı b)Struers Citopress Bakalitleme Cihazı.....	30
Şekil 3.10 a) Optik mikroskop b) Mikro sertlik cihazı	31
Şekil 3.11 GDOES cihazı.....	31
Şekil 4.1 NV ve FeV alaşım içerikli dökümlerin çekme mukavemeti kıyaslaması	32
Şekil 4.2 NV ve FeV alaşım içerikli dökümlerin akma mukavemeti kıyaslaması.....	33
Şekil 4.3 NV ve FeV alaşım içerikli dökümlerin yüzde uzama mukavemeti kıyaslaması	33
Şekil 4.4 Yüzey pürüzlülüğünün darbe akımı ve darbe süresine bağlı değişimi	34
Şekil 4.5 72 A darbe akımında EKİ'ye tabi FeV mikro alaşımlı çeliklerin SEM görüntüleri .	36
Şekil 4.6 Suda işlenmiş NV alaşımlı numunelerin SEM görüntüleri.....	37
Şekil 4.7 Suda işlenmiş NV alaşımlı çeliklerin SEM görüntüleri.....	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.8 Gaz yağında EKİ'ye tabi numunelerin SEM görüntüleri(500X)	39
Şekil 4.9 Gaz yağında EKİ'ye tabi numunelerin SEM görüntüleri(500X)	40
Şekil 4.10 Gaz yağında EKİ'ye tabi numunelerin SEM görüntüleri(500X)	41
Şekil 4.11 FeV alaşımlı çeliklerin EDS izleri	42
Şekil 4.12 Deiyonize suda 72 A darbe akımı ve 100 µs darbe süresinde işlenmiş a) FeV çelik numune b) NV alaşımlı çelik numune	43
Şekil 4.13 Gaz yağında 72 A darbe akımı ve 100 µs darbe süresinde işlenmiş a) FeV çelik numune b) NV alaşımlı çelik numune	44
Şekil 4.14 Gaz yağında EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri(500X).....	46
Şekil 4.15 Gaz yağında EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri(500X).....	47
Şekil 4.16 Gaz yağında EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri(500X).....	48
Şekil 4.17 Suda EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri	49
Şekil 4.18 Tabakalar ve ana metalden alınan sertlik izleri.....	50
Şekil 4.19 Referans numunenin deşarj uygulandıktan sonra yüzey topografyası ve profil ölçümü	53
Şekil 4.20 Suda EKİ'ye tabi numunelerin GDOES profilleri	53
Şekil 4.21 Gaz Yağında EKİ'ye tabi numunelerin GDOES profilleri	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 2013-2014 Türkiye’de ham çelik üretimi ve üretim yöntemi dağılımı.....	3
Çizelge 1.2 Yıllara göre çelikte empürite değerleri.	4
Çizelge 3.1 Numune sayıları ve EKİ işlem parametreleri.....	23
Çizelge 3.2 NV ve FeV kullanılarak yapılan dökümlerin kimyasal kompozisyonları.....	25
Çizelge 4.1 Ortalama sertlik değerleri.....	51
Çizelge 4.2 Tabakalardaki ortalama sertlik değerleri.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Amper
C	: Karbon
Cm	: Santmetre
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
F	: Kuvvet
g	: Gram
I	: Akım
K	: Kelvin
l	: Litre
Mn	: Mangan
Co	: Kobalt
N	: Newton
Ni	: Nikel
R _a	: Yüzey Pürüzlülüğü
Si	: Silisyum
t _A	: Darbe Süresi
t _B	: Bekleme Süresi
t _D	: Gecikme Süresi
V	: Vanadyum
μs	: Mikro Saniye
μm	: Mikrometre
°C	: Santigrat Derece
λ	: Elektriksel İletkenlik
ρ	: Kütle Yoğunluğu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

CNC	: Computer Numerical Control
BEÜ	: Bülent Ecevit Üniversitesi
BOF	: Basic Oxygen Furnace
EDM	: Electrical Discharge Machining
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü
FEV	: Ferro vanadyum
HV	: Hardness Vickers
LF	: Ladle Furnace
NV	: Nitro vanadyum
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 ÇELİK ÜRETİMİ

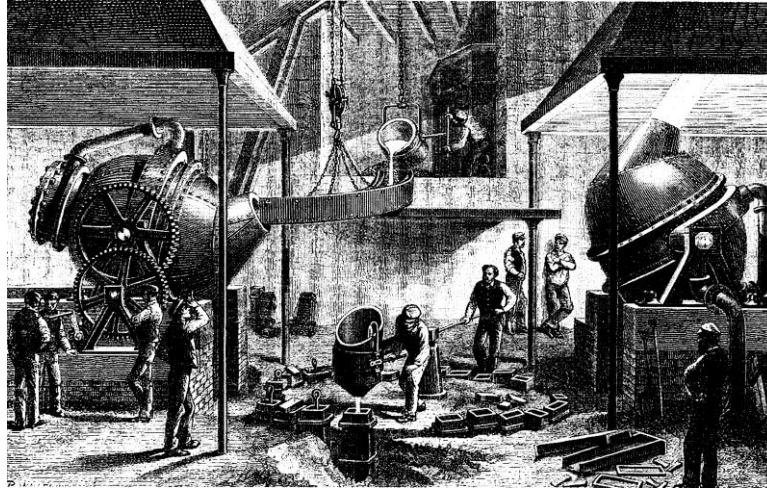
Çelikler dünya genelinde en fazla kullanılan metalik endüstriyel malzeme olarak ünvanını korumaktadır. Yüksek mekanik mukavemetlerin elde edildiği aynı zamanda şekillendirilebilirliğin de mümkün olduğu bu metal günümüz teknolojisinde birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Dünya genelinde 1980 yılında toplam çelik üretimi 716 milyon ton iken 2013 yılında bu rakam 1,65 milyar tona yükselmiştir. Ülkemizde ise 1980 yılında 2,5 milyon ton olan çelik üretimi 2013 yılında 34 milyon tona yükselerek üretim artış hızı dünya genelinin çok üzerinde olmuştur (WSO 2015). Kullanım amaçlarına göre çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler kazandırılmak amacı ile üretilen çelik grupları sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar alaşım miktarlarına göre, içerdiği karbon miktarına göre ve kullanım alanlarına göre yapılmıştır. Örneğin, takım çelikleri olarak bilinen ve yüksek mukavemet gerektiren çelikler alaşımli çelikler olarak bilinmekte olup, elektrik iletkenliği özelliği kazandırılmış, elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmak üzere üretilen grup elektrik çelikleri olarak bilinmektedir.

Çelik malzeme olarak literatürde; % 2,2'ye varan karbon, % 1'e varan mangan, % 3'e varan silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da % 0,03'ten az olan demir karbon alaşımı olarak geçmektedir. Çelik üretimi günümüz koşullarında hammaddeden ve elektrik ark ocaklı metod olmak üzere iki temel işlem ile olmaktadır. Bu metodların kullanılma oranları ülkelerin maden yatakları, hurda kaynakları ve teknolojik gelişmişlik seviyelerine göre değişmektedir. Cevherden üretim yöntemde, metalürjik demir kaynağı olan hematit cevheri yüksek fırınlarda redüklenerek, sıvı ham demire dönüşmektedir. Bu işlem sonrası kükürdü giderilen sıvı ham demire konvertörlerde oksijen üflenerek, karbon içeriği azaltılmaktadır. Konvertör prosesinde oksijen üflenerek sıvı çelik haline getirilen sıvı ham demir pota metalürjisi işlemleri sonrası nihai alaşıma ulaşarak sürekli döküm tesislerinde döküm yapılır. Döküm sonrası oluşan nihai

slab adı verilen çelik üretilmektedir. Üretilen slablar haddeleme prosesi sonrası müşteri isteği doğrultusunda kalınlık ebatları ayarlanarak nihai mamül haline getirilmektedir. Elektrik ark ocaklı yöntemde ise ikincil metalürji işlemleri sonrası proses aynı olmakla beraber elektrik ark sistemi ile ergitme yapılan fırınlarda çelik hurdaları ergitilerek nihai kompozisyonu sağlanmaktadır.

1.1.1 BOF Prosesi

Dökme demir, 1700'li yıllara da ilk olarak Abraham Darby tarafından kömür ile redüksiyon yöntemi kullanarak üretilmiştir. 1856 yılında Henry Bessemer bazik oksijen fırını (Şekil 1.1) geliştirmiş ve çelik üretimi için ilk adımı atmıştır. Bessemer o yıllarda konvertör refrakterinde asidik silika kullanmıştır. Fosfor gidermeyi imkânsız hale dönüştüren asidik silika kullanımı, Gilchrist-Thomas'ın konvertör işleminde bazik refrakter ömrünü geliştirmesi ile terk edilmiştir.



Şekil 1.1 Bessemer bazik oksijen fırını (1860)

Yüksek fırında üretilmiş sıvı ham demir, bazik oksijen fırınları, (BOF) yardımıyla çeliğe dönüştürülmektedir. Bazik oksijen fırınlarının güncel örnekleri Bessemer tipi fırınların modernleşmiş hali olan 1952 yılı Linz – Donawitz (LD) tipi fırınlardır. Günümüz modern bazik oksijen yüksek fırınlarda üretilen sıvı ham demir, kükürt giderme, dekarburizasyon, defosforizasyon, desilikonizasyon işlemlerine tabi tutularak çelik üretimi yapılmaktadır. Bir diğer çelik üretim yöntemi ise elektrik ark ocakları ile üretimdir. Hammaddeden yola çıkılarak elde edilen sıvı ham demire oksijen üflenerek C, Si, Mn gibi elementlerin oksitlendiği yöntemde doğrudan hurda şarj edilerek ergitme de yapılabilmektedir. Ayrıca yöntem ülkemizde yoğun

biçimde kullanılmaktadır. 2013 ve 2014 yılları arasında Türkiye’de üretilen çelik üretim miktarı ve üretim yöntemi dağılımı Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 2013-2014 Türkiye’de ham çelik üretimi ve üretim yöntemi dağılımı (Çelik Dergisi 2015)

OCAK-KASIM DÖNEMİ HAM ÇELİK ÜRETİMİ (‘000 ton)				
	2013	2013-11 Ay	2014-11 Ay	% Değişim
KÜTÜK	26294	21121	22563	-6,5
SLAB	8360	7634	8667	13,5
TOPLAM	34654	31755	31230	-1,7
EO	24723	22777	21856	-4,0
BOF	9931	8978	9374	4,4

Son yıllarda dünya genelinde hammadde fiyatlarının düşmesi, ülkemizde hurdadan üretim metodu olan elektrik ark ocaklı üretim yerine ham maddeden üretim şekli olan bazik oksijen fırınlarında üretim oranını artırmıştır. Bazik oksijen fırını işleminde, torpidolar ile maniple edilen sıvı ham demir potalara boşaltılmakta ve konvertör işlemi öncesi cürufu da sıyırılmaktadır. Uygulanacak döküm kalitesine göre hurda seçimi yapılır ve fırın içerisine sırası ile hurda ve sıvı ham demir şarj edilir. Gelişen teknoloji ile birlikte, nihai çelik kalitesinin sağlanabilmesi için ilave alaşım malzemeleri, üflenecek oksijen miktarı, işlem süresi gibi parametreler sayısal modeller ile belirlenerek bazik oksijen fırınlarında çelik üretimi sağlanır. İstenilen sıcaklık, karbon ve fosfor seviyesine gelindiğinde üfleme sonlandırılarak numune alınır. Ardından, konvertör içerisindeki sıvı çelik potaya boşaltılarak ikincil metalürji işlemlerine gönderilir. Konvertörlerde alaşım ilaveleri ile birlikte oksijen üflenerek karbon, silis ve mangan gibi elementlerin sıvı çelikte miktarları ayarlanarak potaya döküm yapılır. Potaya döküm esnasında (~5-10 dk) ferromangan, ferrosilis, ferrosilikomangan gibi alaşımlama malzemeleri, kok, alüminyum gibi deoksidantlar ilave edilir. Deoksidasyon amacı ile ilave edilen malzemelerin miktarlarının belirlenmesinde, üfleme sonu oksijen miktarı büyük önem taşımaktadır. Çünkü, çelikte oksijen, hidrojen, azot gibi tane boyutu küçük elementler istenmemektedir. Bu tür elementler, tane sınırlarında arayer atomu işlevi görmekte, demir, titanyum, vanadyum, alüminyum gibi elementlerle birleşip inklüzyon oluşturmaktadır. Sonuç olarak çeliğin kimyasal ve mekanik yapısı zarar görmektedir.

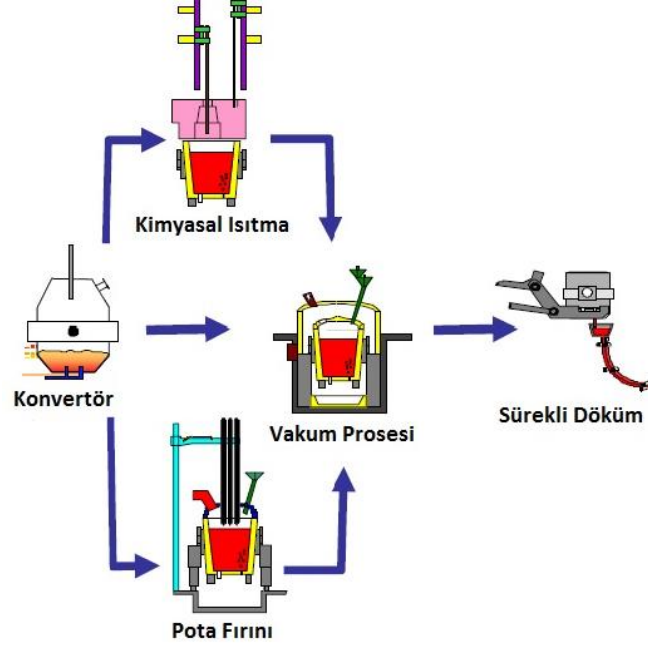
1.1.2 İkincil Metalürji Prosesi

1950 ve öncesine kadar bazik oksijen fırınları, elektrik ark ocakları gibi pota fırınlarında işlem görmekteydi. Ancak gelişen teknoloji ile endüstriyel malzeme gereksinimleri değişti. Örneğin otomotiv sanayinde 1900'li yılların başlarında düşük karbonlu çelikler kullanılırken günümüzde, DP (Çift Fazlı) ve AHSS (Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelik) çelikleri gibi ileri teknoloji çelikleri kullanılmaktadır. Bu çeliklerin üretilmesi de geleneksel pota fırın işlemleri ile mümkün olmamaktadır. Yıllara göre çeliklerde empürite (Çizelge 1.2) azaltılmaktadır. Örneğin standartlarla izin verilen azot miktarı 1983 yılında 100 ppm (milyonda birim sayısı) civarında iken, 1990 yılında 35 ppm olmuş ve ileri dönemli tahminlere göre empürite elementlerin miktarının 45 ppm'i geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesi standart pota fırınlarında mümkün olmamaktadır. Ancak, vakum altında işlem yapılabilen, atmosferik koşullardan minimum etkilenmenin olduğu tesislerde düşük empürite elde edilebilmektedir. Pota fırınları işlemlerinde ehemmiyet kazanan bir diğer husus ise çelik temizliğidir. Sürekli döküm işlemi öncesinde oluşan sülfür, oksit bileşiklerini inklüzyon olarak tanımlamak mümkündür. Bu inklüzyonlar, döküm sırasında nozul tıkanmalarına, akış kesilmesi problemlerine ve haddeleme sırasında yırtılma problemlerine yol açmaktadırlar. Çelik üretim işleminin doğası gereği inklüzyonları tamamen uzaklaştırmak mümkün değildir ancak birtakım teknolojik gelişmeler ile bu miktar azaltılabilir. Bu teknolojik gelişmelere en güzel örnek olarak kalsiyum işlemi gösterilebilir. Pota fırınlarında kalsiyum işlemi uygulanarak zararlı olan inklüzyon sayısı azaltılır. Ancak bu işlemin uygulanabilmesi için birtakım şartlar gereklidir ve bu şartlar ancak teknolojik gelişmeler sayesinde uygulanabilmektedir (Numata vd, 1998). İkincil metalürji işlemleri (Şekil 1.2) konvertörlerden sıvı çeliğin potaya alınması ile başlayıp sürekli döküm prosesine kadar süren işlemleri kapsamaktadır.

Çizelge 1.2 Yıllara göre çelikte empürite değerleri (Ghosh 2001).

Yıllar	Çelikte Elementlerin Maksimum Değerleri (Milyondaki Miktar)					
	C	S	P	H	N	O
1983	400–600	20	150	–	100	–
1990		10	15	–	35	20
Uzun Dönem	S + O + P + N = 45 ppm					

Oksijeni giderilmiş sıvı çeliğe nihai müşteri isteği doğrultusunda istenilen kompozisyona getirilmek amacıyla alaşımlama işlemleri yapılır ve sonrasında çelik temizliği açısından inklüzyonlar modifiye edilerek uzaklaştırılır.



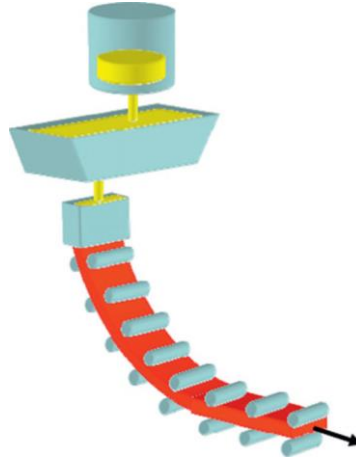
Şekil 1.2 Çeşitli ikincil metalürji işlemleri diyagramı (Holger vd. 2006)

1.1.3 Sürekli Döküm Prosesi

Çelik üretim prosesi ile haddeleme prosesi arasında önemli bir yer teşkil eden sıvı çeliğin kalıplar vasıtası ile döküldüğü işleme sürekli döküm prosesi (Şekil 1.3) adı verilmektedir. 1850’li yılların başında Henry Bessemer bu yöntemi alternatif olarak önerse de ancak 1930’lu yıllarda demir dışı metaller için 1960’lı yıllardan sonra ise demir malzemeler için yaygın biçimde kullanılmaya başlamıştır. 1980’li yıllara gelindiğinde ise yüksek verimlilik, çelik temizliği ve üretim maksimizasyonu nedeniyle dünya genelinde %95 oranında sürekli döküm metodu kullanılmaya başlamıştır (Seetharaman 2014).

Sürekli döküm sıvı çeliğin katılaştırılarak hatlarda haddelenmek üzere slab haline dönüştürüldüğü bir işlemdir. Çelikhanede üretilen sıvı çelik ikincil metalürji tesislerinde sıcaklık ve kompozisyon bakımından ayarlandıktan sonra sürekli döküm tesislerine transfer edilir. Pota taretine konur ve taret döndürülerek döküm konumuna getirilir. Sıvı çelik önce potadan tandişe sonra tandiştan su soğutmalı bakır kalıbın içine dökülür. İlk katılaşma kalıpta

başlar ve slab kabuğu oluşur. Top-zone ve segmentlerden oluşan destek sistemi içinden soğutma odası boyunca çekilen slaba alt ve üst yüzeylerinden hava-su karışımı ikincil soğutma uygulanarak tamamen katılaşması sağlanır. Ara röle tablası üzerinden transfer edilen slab kesme ünitesinde planlama tarafından belirlenen sipariş uzunluklarında kesilir. Daha sonra aynı hat üzerinde çapağı sıyrılan slablar, tartılır, markalanır ve vagonlara yüklenererek slab sahasına gönderilir. Kütük, slab, levha, ya da ince sac olarak dünya genelinde döküm metodları bulunmaktadır. Sürekli dökümün avantajlarının yanında kısıtları da bulunmaktadır, sürekli bir döküm işlemi gerçekleşeceğinden herhangi kimyasal ya da fiziksel kusurlara mahal verilmemesi gerekmektedir. Çelik temizliği her ne kadar ikincil metalürji işlemlerinde sağlanmış olsa da reoksidasyon kaynaklı çelik kirliliği sürekli döküm işleminde oluşabilmektedir. Bu nedenle katılaşma ve çelik temizliği üzerine etki eden parametrelerin kontrolü önemlidir. Bu parametreler; çelik kimyasal kompozisyonu, döküm hızı, kalıp seviyesi, kalıp tozunun seçimi, ossilasyon hakereti, çelik sıcaklığı şeklinde sıralanabilir (Seetharaman 2014).



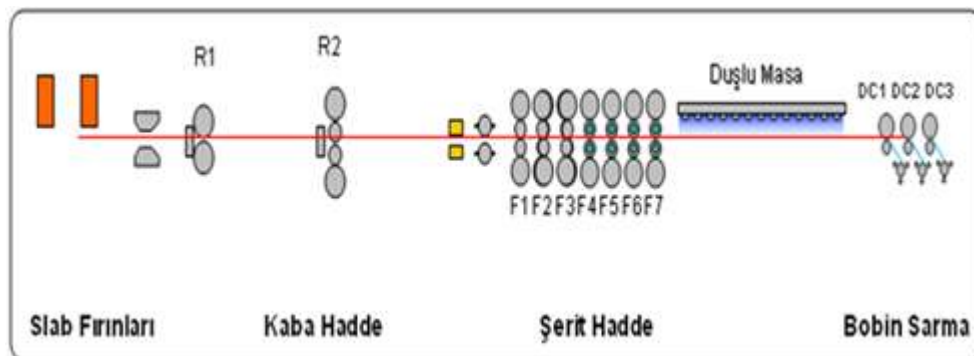
Şekil 1.3 Sürekli döküm prosesinin şematik gösterimi (Seetharaman 2014)

İkincil metalürji işlemleri ve sürekli döküm işlemleri nihai çelik kalitesi açısından çelik üretim işleminin en önemli safhaları olarak bilinmektedir. Bu nedenle çelik temizliğinin ve nihai kompozisyonun sağlanması için pota, tandış ve kalıpta gerçekleşen metalürjik olaylar fiziksel, kimyasal ve termal açıdan zorlu bir süreci gerektirmektedir. Günümüz teknolojisinde metalürjik süreçlerin sayısal modellerinin elde edilebilmesi fiziki koşulların benzetimini mümkün kılmaktadır. Ayrıca geliştirilen otomasyon ve metalürjik tabanlı modeller ile işlem kontrolü anlamlı ölçüde ilerlemiştir.

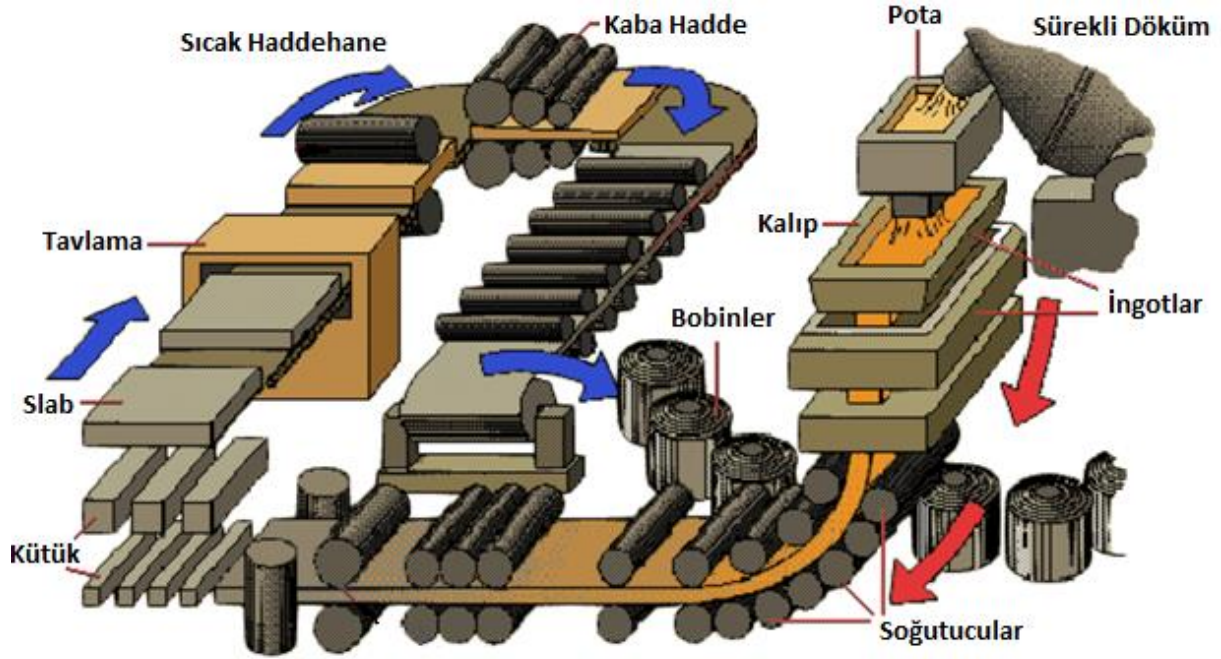
1.1.4 Sıcak/Soğuk Haddeleme

Malzemelere bir kalıp vasıtasıyla plastik şekil verilme işlemine haddeleme adı verilmektedir. Metalik malzemeler hadde yükleri ile sıkıştırarak yassı ya da uzun mamul şekline getirilmektedir. Günümüzde plastik şekil verme yöntemleri arasında yaygın biçimde kullanılan yöntemin başlıca avantajları; üretim hızı, üretim sürekliliği ve işlem kontrolünün kolay olmasıdır. Kendi eksenini etrafında dönen iki adet merdane arasına verilen çelik malzemeye plastik şekil değişimi sağlanması, yassı çelik haddeleme işlemi olarak bilinmektedir. Haddeleme işleminde merdaneler aynı hızda fakat zıt yönde dönme hareketi yapmakta ve arasında verilen boşluk miktarı kadar malzemeye geçme imkânı vermektedir. Sonuç olarak, malzeme belirli bir kalınlığa ezilmekte ve pekleşerek mukavemet kazanmaktadır. Çeliklerde haddeleme işlemi sıcak ve soğuk haddeleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrımın temeli haddeleme sıcaklığından kaynaklanır. Sıcak haddeleme de haddelenen parçanın sıcaklığı yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindedir. Soğuk haddeleme işlemi ise malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının altındadır ve tane boyutunun da şekil almasıyla akma ve çekme mukavemetlerinde artış sağlamaktadır.

Sıcak haddeleme işlem aşamaları (Şekil 1.4) sırası ile fırınlarda slabların haddeleme sıcaklığına ısıtılması, kaba haddeleme işlemi ile 200-225 mm slabın, 25-40 mm kalınlığa ve sipariş genişliğine şerit ön malzemesi olarak haddelenmesi, şerit hadde işleminde şerit ön malzemesinin müşteri talebine göre son kalınlığa haddelenmesi, duşlu masa şerit malzemesinin sıcaklığını laminar su ile düşürerek istenen metalurjik özelliklerin sağlanması, bobin sarma işlemi ile şerit malzemesinin bobin haline getirilmesi şeklinde oluşmaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.4 Sıcak haddeleme prosesinin şematik gösterimi.



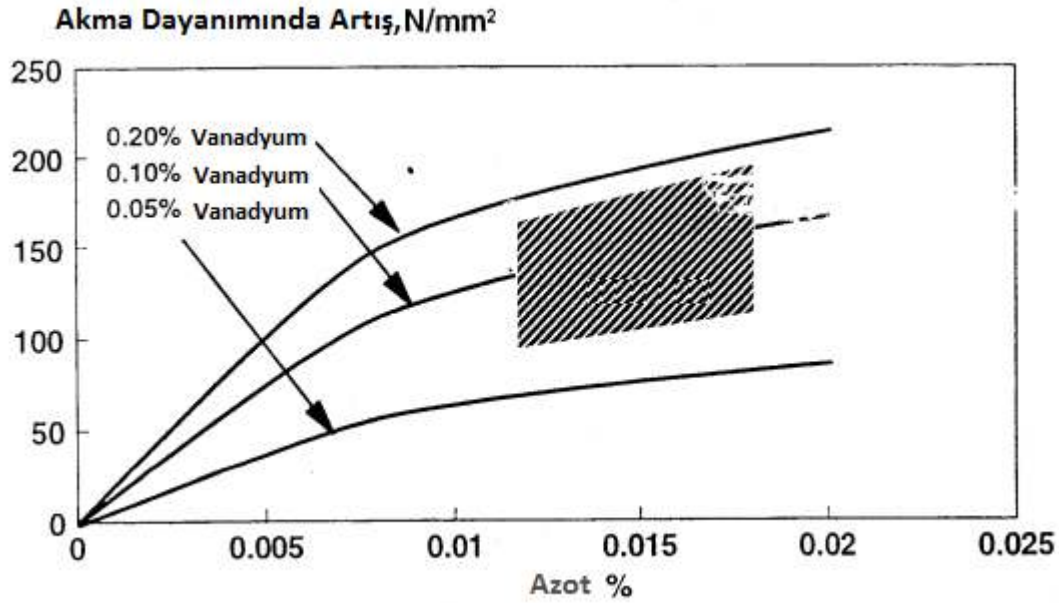
Şekil 1.5 Sürekli Döküm ve Sıcak haddeleme prosesinin şematik gösterimi (Udomphol 2007)

Soğuk haddeleme işleminde ise oksit tabakasının kalmaması, düşük sıcaklıkta haddeleme yapılması neticesinde iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir. Malzeme yüzeyindeki oksit tabakasının kaldırılması için hidroklorik asit banyosunda temizlenir ve en büyük ezme verilerek nihai kalınlığa haddelenir. Ardından, tav fırınlarında yeniden kristalleşme işlemi gerçekleştirilerek iç gerilmeler giderilir. Son olarak temper hadde bölümünde malzemenin mekanik özellikleri homojenleştirilerek bobin olarak sarılır.

1.1.5 Mikro Alaşım Çelikleri ve Çökelme Mekanizması

Nitrür, karbür ve karbonitrür yapıcı olarak alaşım elementlerinden Nb, V ve Ti gibi elementlerin ilave edilmesi ile çökelme sertleşmesi sonucu yüksek mukavemet elde edilen çeliklere mikro alaşım çelikleri adı verilmektedir. Mikro alaşımlı çelikler geleneksel yapı çelikleri ile aynı haddeleme ve sertleştirme mekanizmalarına tabi tutulmasına rağmen yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve düşük sıcaklıkta gevrek kırılma özelliğine sahiptirler. Mikro alaşımlı çeliklerin üretilmesi mikro alaşımlama, östenitleme, sıcak haddeleme, kontrollü soğutma olmak üzere 4 ana aşamada gerçekleşmektedir.

Mikro alaşım elementlerinden niobyum; küçük çökelti fazlarının oluşum mekanizması ile düşük sıcaklık tokluğunun elde edilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Niobyum karbonitrür fazının östenitleşme sırasında yapıda kısmen çözünmeden kalması sonucu kullanımı sınırlıdır. Yeniden kristalleşme sıcaklığını düşürerek mukavemet ve tokluğu arttırmaktadır. Titanyum; yüksek mukavemet istenen çeliklerde kullanılır. Azota olan yüksek afinitesi sonucu sürekli döküm işleminde ilk çökelen fazdır. Tane küçültme etkisi vanadyum ile niobyum arasındadır. Vanadyum; çelikte en büyük çözünürlüğe sahip alaşım elementidir. Çözünürlüğu azot ile kontrol edilebilmektedir. Çelikte artan alaşım miktarına bağlı olarak akma mukavemeti de artmaktadır. Titanyum nitrüre göre çökeltisi daha az etkili olup yeniden kristalleştirme geciktirmesi oldukça düşüktür. Çelikte artan vanadyum ve azot miktarına bağlı olarak akma mukavemetinin 50 MPa dan 250 MPa'a kadar arttığı bilinmektedir (şekil 1.6).



şekil 1.6 Vanadyum nitrür çökeltme mekanizmasına göre akma mukavemeti artması (Glodowski, 2013)

1.1.6 Çelikte Alaşım Elementleri ve FeV –NV Kullanımı

Genel olarak metalik malzemeler, daha iyi mekanik özellikler elde etmek için başka bir element veya elementlerin ana metale ilavesiyle elde edilen metalik alaşımlardır. Çelik, (demir ve karbon) metal olmayan bir elemanı içeren bir alaşımdır. Sade karbonlu çelikler çok az miktarda Mn, Si, P, S gibi elementler içeren Fe-C alaşımlardır. Bu çeliklerin kullanım alanları sınırlıdır. Ucuz ve kolay şekillendirilebilir olmalarına karşın sertleşme yetenekleri ve korozyon dirençleri

azdır, yüksek sıcaklıklarda çabuk oksitlenirler. Sade karbonlu eliklerde C arttıkça mukavemet artar, fakat suneklik azalır ve gevrekleşir. Sunekliğı korumak aynı zamanda mukavemeti arttırmak için alaşım elementleri katılır. En yaygın olarak kullanılan alaşım elementleri Cr, Mn, Ni, W, V, Co, Cu, Al, Mg, Pb, Bi, Be, Sn, B, Si, Ti, Ta, Zr' dir.

Eğer elik yapısında % 5'ten daha fazla alaşım elementi varsa bu çelikler yüksek alaşımli çelikler olarak adlandırılır. Paslanmaz elik, özel amaçlı takım eliğı ve manyetik çelikler örnek verilebilir.

eliklerde alaşım elementi olarak kullanılan Vanadyum ilk olarak 1801'de keşfedilmiştir. Sembolü V, atom numarası 23 olan element 1710 °C de erir ve 3000 °C de kaynar. elik parlaklığında gri renkte ve havada kararlı bir metaldir. Seyreltik asit ve bazların çoğundan etkilenmez. Az miktardaki oksijen, azot veya karbonla birlikte olduğunda metal oldukça sertleşir. Büyük oranda demir ve elik alaşımlarında kullanılır. Oluşturduğı çok kararlı karbürler normal östenitleme sıcaklıklarında çözünmezler bu sayede tane büyümesine karşı güçlü bir engel oluştururlar. Malzemenin tane boyutu ne denli küçükse o denli sınır malzemesi çıkacağından mukavemeti de artacaktır. Vanadyum eliğı, genellikle ısıl işlem sırasındaki tane büyümesini engellemek için katılır. Bu sayede hem mukavemet hem de tokluk iyileştirilir. Karbür oluşumuna yardımcıdır ve malzemenin sertleştirilme zelliliğini martenzit fazını dengeli hale getirerek geliştirir. Ayrıca yorulma dayanımının artırılması üzerinde de etkilidir. Vanadyumun demir ve azotla oluşturduğı ferro vanadyum ve nitro vanadyum elik üretiminde kullanılan iki alaşım elementidir.

Ferro vanadyum (FeV) demirin % 35-85 oranında vanadyumla birleşmesi sonucu oluşan ve bunlara ilaveten C, Al, Si, P, S gibi elementleri içeren bir ferro alaşımdır. Ferro vanadyum stabil karbürler ve nitrürler oluşturmak suretiyle, ürünün mukavemetini artırır. Bunun yanında aşınma, yüksek sıcaklık ve korozyon direnci, sertleşebilirlik, asit ve bazlardan etkilenmeme gibi özellikleri de sağılamaktadır. Ferro vanadyum elektrik ark fırınlarında öncelikle hurda demir eritilerek ve sonrasında diğeri elemanların ilavesiyle elde edilir. Taşıma kolaylığı sebebiyle sandık paletler şeklinde üretilir.

Nitrovanadyum (NV) temel olarak azot ve vanadyumun yanısıra içeriğinde karbon ve az miktarda alüminyumdan oluşan bir alaşım elemanıdır. Vanadyum eliklerde mukavemet artırıcı olarak kullanılmasına karşın vanadyumun azotla oluşturduğı alaşımlar daha yüksek mukavemet sağılamaktadır. NV, piyasadan nem geçirmez paketler içerisinde briketler halinde

temin edilebilir. NV'nin en büyük özelliği, çelik için yüksek mukavemet yanında düşük maliyet sağlaması olarak bilinmektedir. FeV ve NV alaşımları potada eriyik haldeki çeliğe direk ilave edilebilir.

FeV ve NV karşılaştırıldığında, NV kullanıldığında daha düşük vanadyum oranında FeV ile aynı mukavemet sağlanmaktadır. Bu durum maliyetin düşürülmesi anlamına gelmektedir. V ve N'nin oluşturduğu vanadyum nitrürler vanadyum karbürlerden daha kararlı ve daha düzgün dağılmaktadırlar. Böylece azotun varlığıyla vanadyumun mukavemet artırıcı özelliği daha etkin olmaktadır. (Glodowski 2000).

1.2 İMALAT YÖNTEMLERİ

Çeşitli uygulama alanlarında kullanılan çeliklerin nihai şekle ya da tasarıma getirilebilmesi için çeşitli işleme, şekillendirme ve birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu metotlar tornalama ve frezeleme gibi alışılmış imalat yöntemleri, lazer, elektron demeti ile işleme gibi alışılmamış imalat yöntemleri, dövme derin çekme gibi plastik şekil verme yöntemleri, kaynak ve lehim gibi birleştirme yöntemleri şeklinde sıralanabilmektedir. Örneğin inşaat sektöründe kullanılmak üzere üretilen uzun çelikler tornalama, eğilme, bükülme gibi işlemlerden geçmektedir. Çeliklerin nihai şekle getirmek amacı ile uygulanan yöntemler genel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu yöntemler talaşlı imalat gibi alışılmış ve bunların dışında yer alan alışılmamış imalat yöntemleridir. Otomotiv endüstrisinde yassı bir çelik ürün presleme, kaynak gibi alışılmış işlemlerden geçerken, bir uçak motor parçası ise alışılmamış bir imalat yöntemi ile üretilmektedir.

1.2.1 Alışılmış İmalat Yöntemleri

Bu yöntemlerin ortak noktası, malzemeyi bağıl hareket ve kuvvet kullanarak parçanın istenilen nihai geometriye ulaştırılmasıdır. Malzemedan talaş kaldıran takımın, talaş kaldırılan iş parçasından her zaman daha sert olması gerekmektedir. Bu işlemlere örnek olarak tornalama, frezeleme, delme işlemleri verilebilir. Diğer imal usulleri ile oluşturulamayan yüzey kalitesi, geometrik şekli, genellikle dövme, döküm, çubuk çekme gibi işlemlerden sonra da uygulanmaktadır. Talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak geniş bir yelpazede yer alan geometrik şekiller üretilmekte ve iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. Ancak, bu tip imalat yöntemleri fazla malzeme sarfiyatı gibi dezavantajları da bünyesinde barındırmaktadır.

Yalnızca basma kuvvetlerinin etkisi altında genellikle sıcak, yarı sıcak veya soğuk olarak parçaya plastik şekil verme işlemine dövme denir. Sıcak ve soğuk haddeleme işlemine benzer şekilde sıcak dövme işlemlerinde parça ezilme katsayısı daha fazladır ve bundan dolayı harcanan güç daha azdır. Ancak yüzeyde oluşan oksit tabakası nedeniyle, sıcak dövme işleminde elde edilen yüzey kalitesi daha düşüktür. Dövme işleminde iş parçasında gözenek, boşluk, çekilme gibi kusurlar olmamakta ve nihai ürününde yüksek tokluklara erişilebilmektedir. Bu yöntem de hassas ve küçük parça üretimi zorlaştığından genelde büyük boyutlu iş parçaları işlenmektedir Dövme işlemi sonrası malzemenin tane yapısında kontrollü bir akış elde edildikten sonra ısı işleme tabi tutulmaktadır.

Metalik malzemelerin basınç, ısı gibi dış faktörlerin etkisi ile aynı ya da başka bir tür malzemeyi ergiterek birleştirme işlemine kaynak adı verilmektedir. Kaynak işlemi; kaynağın tipi, imalat cinsi ve kaynak amacı olarak 3 grupta sınıflandırılmaktadır. İşlem tipine göre sınıflandırılan kaynak yöntemleri, ergitme kaynağı ve basınç kaynağı olarak ikiye ayrılmaktadır. Malzemeyi sadece ısıtarak, ilave malzeme katarak ya da katmadan yapılan kaynak işlemine ergitme kaynağı adı verilirken, malzemeyi ısı ve basınç altında birleştirme yöntemine ise basınç kaynağı adı verilmektedir. İmalat tipine göre sınıflandırma ise el kaynağı, mekanik kaynak, yarı otomatik kaynak, tam otomatik kaynak olarak sınıflandırılabilir. Günümüz teknolojisinde toz altı kaynağı gibi tamamen robotik olarak yapılan kaynak yöntemleri tam otomatik kaynak olarak da tanımlanabilmektedir. Ağır sanayi ve inşaat işlerinde yoğun olarak el kaynağı ve makine kaynağı kullanılmasına karşılık otomotiv, havacılık sanayinde modern robotik yöntemler yoğun biçimde kullanılmaktadır.

Kaynak işleminde ısı girdisi önemlidir. Kaynaklanacak alana bir ark yada yanıcı gazın oluşturduğu alev vasıtasıyla ısı verildiği anda metal üzerinde sıcaklık gradyanı oluşacaktır. Metaldeki ısı iletiminin hızı, verilen ısı girdisi hızından daha küçük olmalı ki ergime sağlanabilsin. Bu durumda kaynak koşulları belirlenirken kaynaklanacak levhanın ısı iletkenliğinin seçimi de önem kazanmaktadır. Çünkü her metalin ısıyı iletme hızı farklıdır. Bu durum ergimenin oluşması için aynı kalınlıkta farklı metallere ısının da farklı hızlarda verilmesi anlamına gelmektedir. Örneğin, ısıyı bakır çeliğe göre daha hızlı iletir. Bununla birlikte alüminyum yüksek ısı iletkenliğine sahip ve ergime sıcaklığı 660 °C'dir. 1083 °C'de eriyen bakırla kıyaslandığında, ergimeyi gerçekleştirmek, çok güç değildir. Ancak ergimiş bölgenin genişliğini sınırlandırmak güç olabilir.

1.2.2 Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Bu yöntemler özellikle ikinci dünya savaşından sonra hızlı bir gelişim göstermiştir. Alışılmamış imalat yöntemlerinde temel farklılık, takım ve iş parçası arasında kuvvet ve bağıl hareket dışında farklı bir fiziksel ortamın malzeme kaldırma işlemini için kullanılmasıdır. Bu yöntemler alışılmış yöntemlere göre kullandıkları farklı fiziksel ortamların (lazer, elektron demeti, su sütunu vb.) ve tasarım kolaylıkları neticesinde, minyatürleşme ve estetik gibi birçok avantajı imalat endüstrisine kazandırmıştır. Günümüz teknolojisinde yaklaşık olarak 80 tane alışılmamış imalat yöntemi geliştirilmiş ve sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Özellikle 1950-1960'lı yıllardan sonra daha nitelikli ve üstün imalat yöntemlerin arayışına giren mühendisler, yoğun bir çaba içerisinde girmişlerdir. Bu çabalar özellikle havacılık ve uzay sanayinde yeni yöntemlerin gelişimi ile sonuçlanmıştır. Bu yöntemlerin gelişiminde katkısı görülen 3 temel unsur;

- Metalürji ve malzeme mühendisliğinin gelişmesi ile beraber endüstride olağanüstü mukavemete sahip malzemeler üretildi. Bu malzemelerin geleneksel yöntemler ile işlenebilmesi neredeyse imkânsızdı. Özellikle havacılık ve uzay sanayiine yönelik geliştirilen bu malzemeler hem çok dayanımlı hem de çok pahalı olması neticesinde mikro ölçekte işlenmelere gereksinim duyuldu.
- Elektronik sektöründe transistor teknolojisinin de gelişimi ile bir takım ürünlerin konvansiyonel metotlar ile üretilmesi zorlaştı. Arayış sonucu elde edilen yeni imalat metotları ile elektronik sektöründe hem maliyet hem de tasarım açısından minyatürleşme sağlandı.
- Giderek artan ürün çeşitleri, yeni ürün taleplerini de arttırarak, hızla artan ve parasal kaynağa dönüşebilen bir potansiyel yarattı. Tasarım mühendisleri olağan üstü mukavemete sahip malzemelerin keşfinden sonra, yeni ürünler geliştirilmesi konusunda yeni umutlar oluştu.

Böylece yaklaşık 60 yıl sürecinde bu yöntemler hızla gelişerek günümüz sanayiinde yerini sağlamlaştırmış oldu (Erden 1997).

1.2.3 Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Alışılmamış imalat yöntemleri kullandıkları enerji tipine göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar; mekanik, kimyasal, elektrokimyasal ve termal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemleridir.

- I. **Mekanik enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemleri** iş parçasından mekanik kuvvetlerle malzeme kaldırma yöntemleri olarak bilinmektedir. Bu yöntemlere aşındırıcı jet ile işleme, ultrasonik işleme, aşındırıcı su jeti ile işleme örnek olarak verilebilmektedir. Mekanik enerji kullanılan yöntemler çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile iş parçası yüzeyinde kopma mukavemetini aşan gerilme oluşturması ve gevrek kırılma mekanizması ile malzeme kaldırılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su veya havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler, malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerinin, elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğü olarak karşımıza çıkar (Erden 1997).
- II. **Kimyasal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemleri** iş parçası yüzeyine kontrollü olarak uygulanan kimyasalın malzemeyi çözündürmesi ilkesine dayanır. Bu yöntemlerde hassas işleme mümkündür. Aşınması istenmeyen yüzeyler koruyucu bir yalıtkan ile maskelenir, ardından açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür veya kimyasal sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarını ve/veya derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle kimyasal sıvı özelliklerine bağlıdır. Düşük işleme hızları ve sağlık açısından tehlikeli kimyasallar yöntemin dezavantajlı unsurlarıdır.
- III. **Elektrokimyasal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemleri** elektrolitik bir sıvı içinde bulunan iki iletken elektrot arasında, iyon ve elektron alışverişi ile malzeme işleme ilkesine dayanır. Genel olarak düşük gerilim ve yüksek akım kullanılarak işleme yapılır. İşlenen yüzeylerde hasar oluşturmaması, yöntemi diğerlerinden ayırt eden en önemli özelliği olarak ortaya çıkar. Aşındırıcı kimyasalların varlığı, yüksek akım gereksinimi gibi unsurlar ise yöntemi ekonomik açıdan dezavantajlı konuma getirmektedir.
- IV. **Termal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemleri** elektriksel kıvılcım, lazer, plazma ile işleme gibi ısı enerjisini kullanan bu yöntemler havacılık ve uzay sanayi başta olmak üzere yoğun biçimde kullanılmaktadır. Temel olarak odaklanmış ısı enerjisi kullanılarak işleme yapılır. Noktasal sıcaklıklar malzemeyi ergetmekte,

buharlaştırmakta ve hatta iyonlarına ayırmaktadır. İşlenen yüzeyde uygulanan ısı kaynağı metalürjik açıdan hasara uğramış katmanlar oluşturmaktadır. Ancak yöntemlerin termal doğası yeni geliştirilmiş yüksek sertlikte ve mukavemete sahip malzemelerin işlenebilmesini olanaklı kılmaktadır.

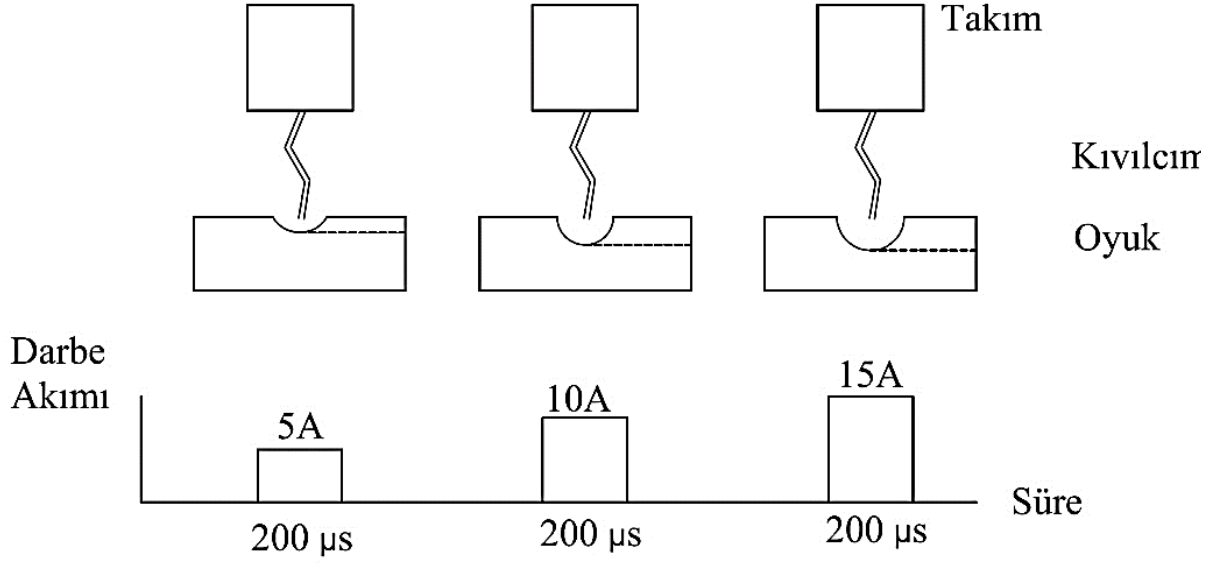
1.2.4 Elektriksel Kıvılcım İle İşleme

Elektriksel kıvılcım ile işleme (EKİ) yöntemi, di-elektrik sıvı içerisinde daldırılmış elektrik iletken elektrot ile iş parçası arasında kontrollü ve ardışık kıvılcımlar oluşturulması prensibine dayanır. Her bir kıvılcım iş parçası yüzeyinden küçük bir bölgeyi eritir, buharlaştırır ve hatta iyonlarına ayırır. Buharlaşan ve ergiyen malzemenin bir bölümü dielektrik sıvı içerisinde tekrar katılaşırken geride küçük krater kalır. Kıvılcımların yüksek hızla ardışık biçimde etkimesi ve takımın kontrollü ilerlemesi sonucu takım dişi şekli iş parçasına işlenmiş olur. EKİ yöntemi özellikle çok sert, yüksek mukavemetli ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemelerin işlenmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Elektrot ile iş parçası arasında temas olmadan karmaşık yapıya sahip kalıp boşluklarının, küçük ve narin iş parçalarının işlenebilmesi, yöntemi aranan işleme yöntemlerinden biri haline getirmiştir. Günümüzde pres döküm, plastik enjeksiyon, dövme, ekstrüzyon, bas şişirme ve toz sıkıştırma kalıplarının yapımında bu yöntem yaygın biçimde kullanılmaktadır (Ersöz 2009).

1.2.4.1 Elektriksel Kıvılcım İle İşleme Yapı Bileşenleri

I. Darbe Üretici ve Darbe Akımı

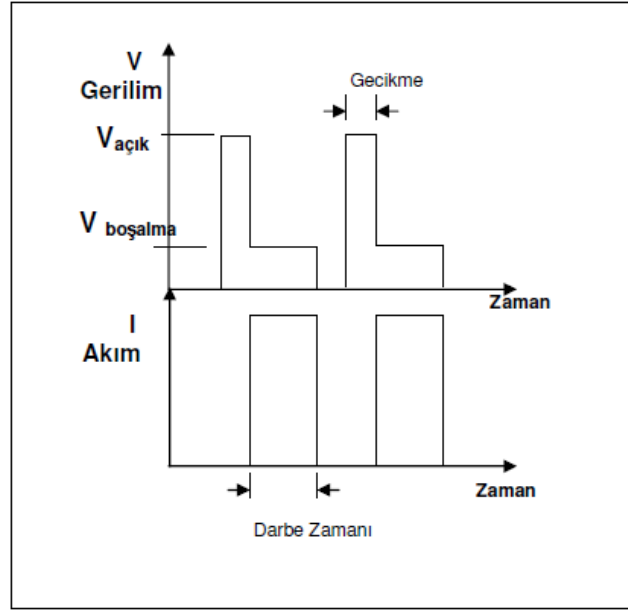
Elektriksel kıvılcımla işleme sırasında kıvılcım oluşumunu sağlamak için, elektriksel darbelerin istenilen form ve sürede üretilmesi için oluşturulan elektrik devrelerine darbe üretici adı verilmektedir. Günümüz teknolojisinde, gelişen bilgisayar sistemleri ile birlikte, üretilen elektriksel darbeler, darbe gerilimi ve süresi de kontrol edilerek iş parçasına iletilmektedir. Darbe süresinin artışı ile işleme sırasında oluşan krater çapları büyürken, yayvanlaşmaktadır. Darbe akımı ise kraterlerin derinliğini belirlemektedir. Artan darbe akımı daha derin kraterlerin oluşumu ile sonuçlanacaktır (Şekil 1.7). Sonuç olarak, işlenen yüzeyin kalitesi ve malzeme kaldırma hızı birinci derecede işlem sırasında uygulanan darbe süresi ve akımı ile ilişkilidir.



Şekil 1.7 Darbe akımının oluşan krater geometrisi üzerindeki etkisi (Yaşar 2015).

II. Deşarj Gerilimi ve Servo Sistemi

Elektriksel kıvılcım ile işleme sırasında elektrotlar açık aralık gerilimi ile yüklenir ve takım elektrotu bir servo mekanizma aracılığı ile iş parçasına doğru yaklaştırılır. Takımın iş parçasına yaklaşırken, iş parçası ile arasındaki boşluğu dolduran dielektrik sıvının kalınlığı da düşer. Düşen kalınlık dielektrik sıvının elektriksel yalıtım direncini de düşürmektedir ve bir eşik kalınlığa ulaşıldığında da üzerindeki gerilimi taşıyamaz duruma gelir. Dielektrik sıvının kırılması olarak nitelendirilen bu kritik eşikte gerilim aniden düşer, iş parçası ile takım arasında düşük dirençli bir plazma kanalı oluşur ve içerisinde iyon ve elektron hareketi başlar. Bu açıdan, EKİ uygulamalarında, elektrotlar arası mesafenin ve elektriksel darbe akımının kontrol edilmesi (Şekil 1.8) önemlidir. Bir servo sistemi, istenmeyen kısa devre ve ark oluşumlarının da engelleyerek, elektrotun iş parçasına doğru ilerleme hareketini gerçekleştirmektedir.



Şekil 1.8 Darbe akımının ve geriliminin değişimi (Yaşar 2015)

III. Dielektrik Sıvı

Elektrot ve iş parçası yüzeylerini soğutma, malzemedен ayrılan talaşları soğutma ve işleme bölgesinden uzaklaştırma gibi fonksiyonları sağlar. Bu fonksiyonların yerine getirilebilmesi dielektrik sıvının sirkülasyonunun ne şekilde gerçekleştirildiğine bağlı olarak değişmektedir ve bu açıdan önem arz etmektedir. İşleme bölgesine basınçlı dielektrik sıvı göndermek, işleme performansını geliştireceğinden, di-elektrik sıvı bir pompa ile depodan işleme bölgesine gönderilir ve işleme kabındaki tahliye düzenekleri üzerinden yerçekimi vasıtası ile depoya geri döndürülür. Kirlenen di-elektrik sıvı, çeşitli filtreleme ve dinlendirme işlemlerinden geçirildikten sonra, tekrar temiz ve uygun sıcaklıkta işleme bölgesine pompalanır.

1.2.4.2 Elektriksel Kıvılcım

Kıvılcım için verilebilecek en basit örnek, her zaman herkesin karşılaşabileceği yıldırım olayıdır. Yıldırım, aşırı elektriksel yük ile yüklenmiş bulutların (elektrot) altında yer alan havanın (dielektrik ortam) üzerindeki yükü taşıyamayarak kırılması ve yeryüzüne (iş parçasına) elektron bombardımanı ile boşalması biçiminde açıklanabilir. Yıldırımın şiddetine bağlı olarak yeryüzünde, tahribat (aşınma) meydana gelir. Elektro erozyon tezgahlarında, elektronik kontrollü elektriksel boşalmalar, mikro saniyeler boyunca iş parçası üzerinde etkir. Kıvılcım ile işlemenin adımları; elektrotun iş parçasına yaklaştırılması, elektriksel alan şiddetinin artması,

dielektrik sıvının polarizasyonu, kırılma ve aşınmadır. Elektrot ile iş parçası arasındaki mesafe en düşük seviyeye indiğinde elektriksel alan en yüksek değerine ulaşır. İyonik (yükli) parçacıkların sayısı arttıkça, elektrik alanın en güçlü olduğu bölümde dar bir kanal boyunca dielektrik sıvının yalıtkanlık özelliği azalmaya başlar. Kırılma öncesi bu evrede, elektrik akımı hala sıfırdır. Sıvının daha az yalıtkan hale gelmesi ile birlikte düşük dirençli bir boşalım kanalı oluşur ve yüklü atomik parçacıklar hızla bu kanal içerisinde hareket etmeye başlarlar. Boşalım kanalı akım geçtiği sürece genişleyerek bir miktar dielektrik sıvıyı hızla buharlaştırır ve iyonlarına ayırır. İş parçasına ve elektrot yüzeylerine hızla çarpan yüklü parçacıklar ise yüzey sıcaklığını hızla artırır.

Boşalım kanalının temas yüzeylerinde malzeme eriyik durumdadır ancak plazma kanalının oluşturduğu yüksek basınç nedeniyle buharlaşmamıştır. Sonuç olarak, boşalım kanalı, içinden büyük bir akım geçen elektrot, iş parçası ve dielektrik sıvı iyonlarından oluşan süper ısınmış bir plazmadır. Darbe süresinin sonlanması ile plazma kanalı hızla kapanır. Plazma kanalının temas alanlarında süper ısınmış eriyik iş parçası elektrot malzemesi düşen basınç neticesinde hızla dielektrik sıvı içerisine püskürür ve aniden katılaşırlar. Sirküle edilen dielektrik sıvı, işleme bölgesini temizleyerek soğumasını sağlar ve bir sonraki kıvılcım için uygun koşulları oluşturmuş olur.

1.3 ÇALIŞMANIN AMACI

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. bünyesinde, FeV yerine NV kullanımı ile maliyet tasarrufu sağlanması ve yüksek mukavemetli çelik üretilebilirliğinin araştırılması amacı ile levha ve bobin ürün tiplerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Tüm denemelerde tedarik edilen Nitrovanadyum alaşım malzemesi kullanılmıştır. Denemelerin ilk kısmı maliyet tasarrufu sağlamak, ikinci kısmı ise yüksek mukavemetli çelik üretilebilirliğini araştırmak üzere gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, NV alaşımlı çeliklerin elektriksel aşındırma ile işlenmesinin etkilerini araştırmaktır. Yapılan laboratuvar incelemeleri sonrası çelikte ferro vanadyum yerine nitrovanadyum kullanımının elektriksel aşındırma ile işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. Deney parametreleri olarak değişken akım, darbe gerilimi, darbe süresi ve farklı dielektrik sıvılar kullanılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde çeliklerde alaşımlama ile ilgili çalışmalara sıkça rastlanmaktadır. Özellikle, çeliklerde kullanılan alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırmacıların odak noktası olmuştur. Ollilainen vd. (2003); silis, vanadyum ve azotun, orta karbonlu düşük alaşımlı hava çeliklerinin sertliği ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Vanadyum ilavesinin, östenitik tanelerin büyümesini kısıtlayarak sertliğini arttırdığını öne sürmüşlerdir. Buna karşılık, yüksek silisli çeliklerde azot katkısı etkin bir rol oynamamaktadır. Riofano vd. (2006); farklı vanadyum oranlarında iyon nitrürlü çeliklerin aşınma davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarında, iyon nitrürleme işleminden sonra ortaya çıkan katmanların sertlik değerlerinde vanadyum katkısından dolayı artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca, daha düşük vanadyum katkı oranlarına göre % 15 vanadyum nitrürlü çelik yüzeylerinin daha yüksek abrasif aşınma direncine sahip olduğunu vurgulamışlardır. Abbasi ve Shokuhfar (2007); Cr-Ni-Mo-Cu-Ti paslanmaz çeliklerinde vanadyum alaşımlamasının mekanik özelliklere etkisi ve mikroyapısal değişimleri incelemişlerdir. Çalışma sonrası elde edilen sonuçlara göre östenit-martenzit fazından oluşmakta olan numunelerde vanadyum ilavesine bağlı olarak kayda değer miktarda ferrit fazı oluşumu gözlemlenmiştir. Bu koşullar altında oluşan östenit fazı kararlı halde olmayıp, plastik deformasyon sonrası martenzit fazına dönüşmektedir. %80 soğuk haddelenmiş ve yaşlandırılmış çeliğe kütlece %0,5 - %1 miktarında vanadyum ilavesi gevreklik üzerinde olumsuz etki yapmaksızın sertlik ve mukavemet değerlerini artırmakta olduğu belirtilmiştir. Medina vd. (2008), yüksek azot içerikli vanadyum mikroyapılı çeliklerde ferritin tanelerarası çekirdeklenmesi vasıtasıyla tane küçültmesi üzerinde çalışmışlardır. 0.35 birim uzama için 950 °C’de burulma testiyle yeniden kristalleşme oranını belirlemişlerdir. VN çökeltisi üzerinde ferritin tanelerarası çekirdeklenmesiyle yaklaşık %50 oranında tane küçülmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir. Jun vd. (2008); azot ve vanadyumun Fe-C-V-N sistem aktivitesinin tahmin edilebilmesi için matematiksel bir model önermişlerdir. Modelde faz diyagramı ve metal eriyik yapısının birliktelik teorisi temel alınmıştır. Riofano vd. (2008); P/M takım çeliği alaşımının iyon nitrürlemesi sonucunda farklı

vanadyum oranlarında aşınma direncinin geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Yüksek vanadyum oranına sahip çelikte kalın nitrürlü tabakaların oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Abrasif aşınma testleri sonucunda, su verme ve temperlemeyle karşılaştırıldığında, iyon nitrüleme işlemi ve vanadyum ilavesinin CPM-3V ve CPM-15V P/M takım çeliklerinin sertliğini ve aşınma direncini artırdığını belirtmişlerdir. Siwecki vd. (2009); düşük karbonlu beynitik çeliklerde vanadyum ve uygun temel alaşımlama elementleri ile mikroalaşım prosesini incelemiştir. Çalışmada tamamen beynitik yapı oluşturmak amacı ile ana alaşım olarak % 1,4Mn, %1-% 1,4Cr ve % 0,12-0,25Mo belirlenmiştir. 400 °C’de sarılan çeliklerde daha yüksek sıcaklıklarda sarılan çeliklere göre beynitik yapı oluşumu daha fazla gözlemlenmiştir. Bu çeliklere % 0,08 V ve % 0,10-% 0,20 aralığında azot ilavesi ile akma gerilmesi 680 MPa’dan 750-790 MPa değerlerine yükseldiği belirlenmiştir. Oksiuta vd. (2013); vanadyum ilavesinin ODS (Oksit dağılım destekli alaşım) ferritik çeliklerinin mikroyapısı ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Charpy darbe testleri sonucu vanadyum ilavesinin tane büyüklüğü ve kırılma direnci üzerinde etkili olduğu, vanadyum oranı arttıkça düşük sıcaklıkta çeliklerinin enerjisinin arttığını saptamışlardır. Buna göre çatlak ilerleme oranı düşmekle birlikte vanadyum oksit oranının artmasına bağlı çatlak oluşmaktadır. Glodowski R.J. (2013), literatürde birden fazla örneği bulunan V-N mukavemet artırma modellerine alternatif olarak empirik bir model geliştirmeye çalışmıştır. Yapılan çalışmalarda Ti, Nb ve Al gibi alaşımlama elementlerine alternatif olarak yapıda vanadyum ile değiştirilecek azot miktarı belirlenmiş ve Al miktarının V-N çökelti oluşumunu etkileyen en önemli alaşım olduğu belirlenmiştir. Suwanpinij ve Dickert (2014), sıcak haddelenmiş çeliklerde düşük hadde yükleri ile yüksek mukavemetli çeliklerin vanadyum çökeltme sertleşme mekanizması ile üretilebilirliğini incelemiştir. Çalışma metodu olarak çökelti sırası ile SEM, TEM ve EDX ile karakterize edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonrasında çelikte %0,05 Nb ilavesine göre vanadyum ilavesi yeniden kristalleşme süreci sırasında daha düşük hadde yükleri gerektirmekte olduğu belirlenmiştir. Çetin ve Yamantürk (2016); sıcak haddeleme prosesinde VN mikro alaşımlama mekanizması kullanılarak düşük hadde yükleri ile yüksek akma mukavemetine sahip çeliklerin üretilebilirliği incelemişlerdir. Çalışmada genellikle Ti ve Nb alaşım elementleri kullanılarak termomekanik haddeleme yöntemi ile üretilen yüksek mukavemetli çeliklerin VN çökelti ile Yeniden kristalleşme sürecinin başladığı sıcaklığının altına inmeden üretilebildiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile düşük hadde yüklerine sahip haddehanelerde söz konusu alaşımlama mekanizması ile yüksek mukavemetli çeliklerin üretilebilirliğine dair olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde, aynı zamanda çelik ve çelik alaşımlarının elektriksel kıvılcımla işlenmesini (EDM) içeren çok sayıda çalışma mevcuttur. Genel olarak malzeme kaldırma hızı gibi işlem performansının değerlendirildiği çalışmalarla birlikte, işlem parametrelerinin iş parçası mikroyapısı ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Özellikle, takım elektrot malzemesi ve dielektrik sıvıdan malzeme taşınımı ve işleme bölgesinde oluşan yeniden katılaşmış katmanın özellikleri son yıllarda araştırmacıların yoğun ilgisi ile karşılaşmıştır. Soni ve Chakraverti (1996); kalıp çeliklerinin elektriksel kıvılcımla işlenmesi sırasında malzeme taşınımını deneysel olarak araştırmışlardır. Takım ve iş parçasının katılan tabakalarındaki ve yüzeyden kaldırılan birikintilerdeki kimyasal değişimlerini taramalı elektron mikroskobu ile incelemişlerdir. Isıl etkilenmiş ve katılaşmış tabakalardaki sertlik değerlerinin değişimi de incelenmiştir. Takımdan iş parçasına ve iş parçasından takıma büyük ölçüde element transferinin geliştiğini gözlemlemişler ve yüzeyin mekanik özellikleri üzerindeki etkinliğini irdelemişlerdir. Yeniden katılan katmanda yüksek oranda kalıntı çekme gerilmeleri ve mikro çatlak ağları ile de karşılaşmıştır. Lee ve Tai (2003); EKİ parametreleri ile çatlak oluşumu arasındaki ilişkiyi takım çelikleri için araştırmışlardır. Özellikle yüksek darbe süreleri ve düşük darbe akımları kullanıldığında takım çelik yüzeylerinde yoğun mikro çatlak ağları ile karşılaşmıştır. Ekmekçi vd. (2005), elektro erozyon işleminde çelik numune üzerinde elektrot cinsi ve dielektrik sıvının yüzey özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre takım elektrotu ve dielektrik sıvıdan bağımsız olarak işlenmiş numune yüzeyinde beyaz tabaka oluşmaktadır. EDM işleminde karbon ihtiva eden dielektrik sıvı kullanıldığında oluşan tabaka metalde hızlı soğumaya bağlı olarak sementit ve kalıntı östenit içerisinde dentritik olarak dağılmış martenzit fazlarından oluşmaktadır. Çatlakların yoğunluğu darbe süresi ve düşük darbe akımlarında artmaktadır. Yapıda kalıntı östenit miktarı ve mikro çatlakların yoğunluğu de iyonize su kullanıldığı durumda daha az olarak gözlemlenmiştir. Ekmekci vd. (2006); EKİ ile işlemede oluşan kalıntı gerilmelerin yüzeyden malzeme içine doğru hızla artarak, yeniden katılaşmış katmanın altında en yüksek değerine ulaştığını göstermiştir. Ayrıca, EKİ ile işlenmiş yüzeylerde kalıntı gerilmelerin derinliğe bağlı değişimini tahmin etmek için deneye dayalı bir model sunmuşlardır. Ekmekci B. (2007); EKİ ile işlemede oluşan beyaz tabaka ve kalıntı gerilmeleri farklı elektrot malzemesi ve dielektrik sıvılar için değişimini irdelemiştir. Çalışmasında bakır ve grafit, elektrotlar ile gazyağı ve deiyonize suda işlemeyi karşılaştırmışlardır. Guu ve Ti-Kuang Hou (2007); Fe-Mn-Al alaşımının EKİ ile işlenmesinde işlem parametrelerinin yüzey yapısı üzerindeki etkilerini araştırmak için atomik kuvvet mikroskobu ile analizler yapmışlardır. Deneysel sonuçlara bağlı olarak, EKİ nin neden olduğu yüzey pürüzlülüğü, mikro çatlaklar, mikro boşluklar, tabaka hasarlarının hesaplanabilmesi için

bir model önermişlerdir. Dwivedi ve Choudhury (2016) çalışmalarında çeliklerin işlenmesinde, elektrodun dönme metodolojisinin EDM performansına etkisini incelemişlerdir. Burada elektrot dönerek işleme yapıldığında, sabit olduğu duruma göre daha düzgün yüzey, daha az çatlak, daha ince eriyip katılan katman elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ortalama malzeme kaldırma oranında % 41 ve yüzey pürüzlülüğünde % 12 iyileşme sağlamışlardır. Ntasi vd. (2010); Diş alaşımlarının korozyon direnci üzerinde EKİ ile işleme etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında Co–Cr (Okta-C) ve grade II cpTi (Biotan) alaşımlarını ele almışlardır. Konvensiyonel işlemeye nazaran EKİ ile işlemenin her iki alaşımın korozyon direncini düşürdüğünü bu sebeple biyolojik reaksiyonların olumsuz etkilerini de artırdığını kaydetmişlerdir. Dastagiri ve Kumar (2014); paslanmaz çeliğin EKİ ile işlenmesinde işlem parametrelerinin tasarımı üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Akım, voltaj, bekleme süresi ve iş faktörünün malzeme kaldırma oranı, takım aşınma oranı, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve sertlik üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve bir matematiksel model sunmuşlardır. Zhang vd. (2014); EKİ ile işlemede sıvı ve gaz dielektrik etkilerini araştırmışlardır. Gaz dielektrik olarak hava ve oksijen, sıvı dielektrik olarak ise deiyonize su, gazyağı, yağ-su emülsiyonu kullanmışlardır. Aynı koşullarda, farklı dielektrik sıvıların oluşturduğu krater yapılarının da büyük farklılıklar içerdiğini kaydetmişlerdir.

Yapılan literatür taraması, EKİ yöntemi ile nitrovanadyumlu çeliklerin işlenmesi ile oluşan yapısal farklılıkların konu edilmediğini ortaya koymuştur. EKİ yöntemi ile işlenmiş NV ve FeV alaşımlı çeliklerin karşılaştırılmalı biçimde irdelenmesinin özellikle iş parçası alaşım elementlerinin kıvılcımla işleme mekanizması üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını sağlayacaktır.

BÖLÜM 3

DENEY DÜZENİĞİ ve YÖNTEM

Çalışma boyunca kurgulanan deney düzeneğinin tasarım aşamaları, numunelerin hazırlanması ve kullanılan cihaz ve tezgâhlar bu bölümde tanıtılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle tasarlanan deney düzeneğine uygun boyutlarda 18 adet NV ve 18 adet FeV olmak üzere 36 adet numune hazırlanmıştır. Ardından, numuneler EKİ tezgâhında işlenmiştir. Bunun için ilk 18 adet numune de-iyonize suda (saf su) 72, 22, 7 Amper darbe akımı ve 25, 100, 400 μ s darbe sürelerinde işlemeye tabi tutulmuştur. Diğer 18 adet seri numune ise aynı parametrelerde gazyağında işlenmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Numune sayıları ve EKİ işlem parametreleri

Deionize Su		72A		Gazyagi		72A	
		FeV	NV			FeV	NV
	25 μs	1	2		25 μs	19	20
	100 μs	3	4		100 μs	21	22
	400 μs	5	6		400 μs	23	24
		22A				22A	
	25 μs	7	8		25 μs	25	26
	100 μs	9	10		100 μs	27	28
	400 μs	11	12		400 μs	29	30
		7A				7A	
	25 μs	13	14		25 μs	31	32
	100 μs	15	16		100 μs	33	34
400 μs	17	18	400 μs	35	36		

İşlenen numunelerin öncelikle yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş, ardından numuneler alaşım elementlerinin etkilerinin belirlenmesi için XRD, SEM EDS ve GDOES analizlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca alaşım elementlerinin mikroyapı ve mikroserklik üzerindeki olası etkilerinin belirlenebilmesi için optik analiz ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında ve Ereğli Demir Çelik Fabrikaları laboratuvarlarında bulunan ve çalışma sırasında kullanılan cihazlar:

- Ajan EDM CNC Model 983 4 Eksenli EKİ Tezgâhı,
- Agilent 54622A Osiloskop (100 MHz, 20 MSa/s)
- Shimadzu HMV-G21 (Vickers, Knoop Indenter) Mikro Sertlik Cihazı
- Jeol JSM 7100-F FEG-SEM
- HORIBA Jobin Yvon - GD-Profiler
- Metkon IMM 901 Optik Mikroskop
- Densi Elektronik Hassas Terazî
- Optimum Mini Torna
- Nikon MA 200 Optik Mikroskop
- Steuers Diskotom-65 Kesme Cihazı
- Steuers Accutom-2 Hassas Kesme Cihazı
- Steuers CitoPress Bakalitleme Cihazı
- Steuers TegraPol-21 Zımparalama-Parlatma Cihazı
- Steuers Drybox-2 Kurutma Cihazı

3.1 NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE ELEKTROT SEÇİMİ

EKİ tezgahında işlenecek olan FeV ve VN alaşımlı numuneler yapılan denemeler sonucu Ereğli Demir Çelik Fabrikalarında hazırlanmıştır. Denemeler, FeV yerine NV kullanımı sonucu yapıda oluşacak VN bileşikleri vasıtasıyla mekanik özelliklerin iyileşeceği ve maliyet tasarrufu sağlanabileceği ön görülerek yapılmıştır.

Denemelerde, slab fırını ısıtma sıcaklığında VN oluşum verimini maksimum seviyeye çıkarmak için, Al miktarı 0,015-0,030% seviyesine, Nb miktarı 0,015,-0,020% seviyesine düşürülmüş ve Ti ilavesi kaldırılmıştır. Bu sayede slab fırını sıcaklığında (1250°C) daha önce çökelen TiN, AlN ve Nb(C,N) fazları azaltılarak V'un daha yüksek verimde N ile birleşerek VN fazı oluşturması amaçlanmıştır. NV kullanılarak yapılan deneme dökümlerde elde edilen kimyasal kompozisyonlar Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Elde edilen slablar levha haddehanesinde 22 ve 15mm olmak üzere iki farklı kalınlıkta haddelenmiştir. Haddeleme sonrası levhalardan normalizasyon tavlamaşı uygulanmadan numuneler alınarak mekanik testler yapılmıştır.

Çizelge 3.2. NV ve FeV kullanılarak yapılan dökümlerin kimyasal kompozisyonları

Element	NV Alaşımlı	FeV Alaşımlı
C	0,156	0,155
Mn	1,382	1,367
P	0,013	0,02
S	0,003	0,005
Si	0,3	0,377
Alsol	0,016	0,043
Altot	0,017	0,044
Alins	0,0015	0,0014
Cu	0,033	0,035
Cr	0,021	0,045
Ni	0,048	0,067
Mo	0,012	0,004
V	0,083	0,057
Nb	0,022	0
Ca	0,001	0,0022
As	0,011	0,009
N	0,0127	0,0043

Haddehane prosesinde elde edilen levhalardan kesilen 10x10x3 cm ebatlarındaki levhalardan Erdemir mekanik atölyelerinde CNC tezgâhında 10 mm çapında 8 mm yüksekliğinde numuneler kesilmiştir (Şekil 3.1 a). Sonrasında bütün numuneler 600 °C de gerilme giderme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.1b). Son olarak takım-iş parçası paralelliğini sağlamak amacıyla numune yüzeyleri 800 kum zımpara ile parlatılmıştır (Şekil 3.2). Numunelerin EKİ tezgahında işlenmesinde 20 mm çaplı bakır elektrot kullanılmıştır (Şekil 3.3).



a)



b)

Şekil 3.1 a) İşlenmek üzere kesilen numuneler b) Fırınlanmış numuneler



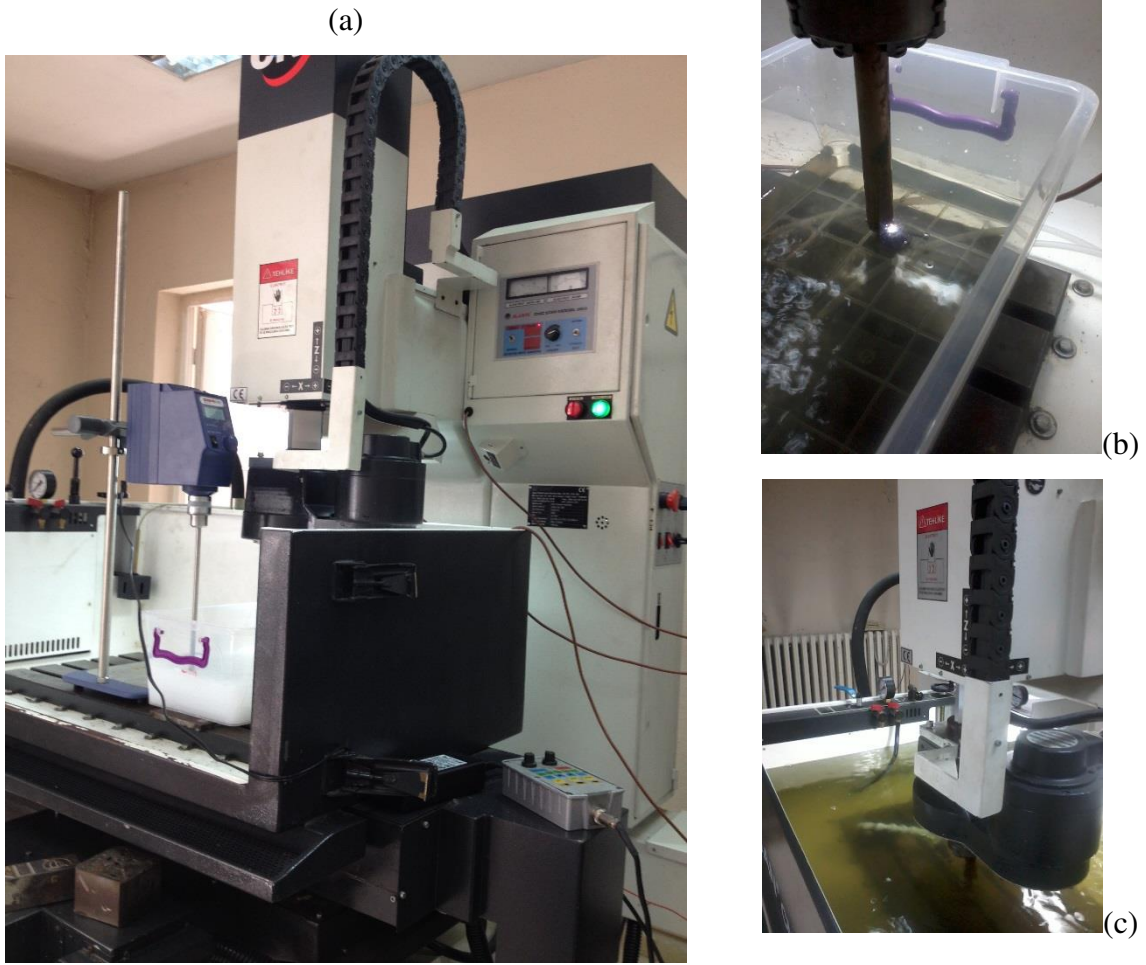
Şekil 3.2 Zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 3.3 Numunelerin işlenmesinde kullanılan bakır elektrot

3.2 EKİ TEZGAHI

Numunelerin işlenmesinde Makine Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Ajan CNC Model 983 dalma tip erozyon tezgâhı kullanılmıştır. Tezgah üzerinde eşzamanlı birden fazla çalışma mevcut olduğundan ve bu kapsamda farklı dielektrik sıvılar ve dielektrik sıvılara eklenen toz katkılarının da kullanılabilmesi yanında aynı zamanda tezgahın zarar görmemesi için mevcut sirkülasyon sistemi devre dışı bırakılıp farklı deney serilerine cevap verecek biçimde tasarlanan işlem havuzu adapte edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 a) EKİ tezgahının genel görünümü b) Deiyonize suda işleme c) Gazyağında İşleme

Ayrıca sisteme ilave edilen bir mekanik karıştırıcı vasıtasıyla işleme sırasında kaldırılan malzemenin ve eriyip katılaştıran küresel artık malzemelerin işlem bölgesinden uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Böylece kullanılan dielektrik sıvılar yaklaşık 1000 dev/dak sirkülasyona tabi tutulmuştur. Uygulanan gerilim- akım değerleri ve değişimleri osiloskop yardımıyla takip edilmiştir.

3.3 DİELEKTİRİK SIVILAR

Farklı dielektrik sıvıların mikroyapı ve yüzey üzerindeki etkilerini görmek amacıyla numulelerin EKİ tezgahında işlenmesinde, arıtma cihazı vasıtasıyla (Şekil 3.5) organik ve inorganiklerden arındırılmış deiyonize su ve gazyağı olmak üzere iki farklı dielektrik sıvı kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Su arıtma cihazı

3.4 ANALİZLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

EKİ parametreleri ve alaşım elementlerinin etkilerini görmek ve kıyaslayabilmek amacıyla işlenen numunelerin öncelikle yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Tylor Hobson yüzey pürüzlülük cihazı

Sonrasında yüzey incelemeleri için BEÜ Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi ile ERDEMİR Ar-Ge Laboratuvarında yer alan taramalı elektron mikroskopu (Şekil 3.7) yardımıyla SEM ve X ışını kırınım cihazı yardımıyla XRD (Şekil 3.8) analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.7 Taramalı elektron mikroskopu



Şekil 3.8 XRD cihazı

EKİ sırasında kesitte oluşan katmanlardaki değişimlerin gözlenebilmesi için numuneler önce hassas kesme cihazıyla, kesme işlemi sonunda çapak kalmaması amacıyla işlenmiş yüzeyden başlayarak kesilmiş ve iki parçaya ayrılmıştır. Numunelerin kesitleri alındıktan sonra bakalit tozlarıyla, bakalite alma cihazında 190 °C' de 8 dakika bekletilmiş ve ardından soğutulmuştur. Optik mikroskopta saydam bakalit tozlarında ışık yansımaları oluşmakta ve bu mikro yapı analizlerini zorlaştırmaktadır. Bunu önlemek amacıyla numuneye temas eden yüzeyler siyah bakalit tozuyla kaplanmıştır (Şekil 3.9).

Bakalite alınmış numuneler zımpara ve parlatma cihazında sırasıyla 240, 400, 800, 1200 kum zımparalar ile zımparalanmış ve ardından sırasıyla 1 µm ve 0.25 µm elmas süspansiyonlarıyla parlatma (çuhalama) gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin amacı, numunede mevcut çizikleri yok etmek ve deformasyonlardan temizlenmiş yüksek parlaklıkta yüzey elde etmektir. Dağlama, metalografik muayeneyi yapabilmek için fazların ortaya çıkmasını sağlayan ajanlarla yapılır. Bu çalışmada çelik için geleneksel dağlama ajanı Nital kullanılmıştır. Dağlama işleminin ardından Nikon MA 200 model optik mikroskobunda sırasıyla X500 büyütmedeki kesit görüntüleri alınmıştır. 500X büyütme, oluşan katmanların daha net görülebilmesi ve katman kalınlıklarının bakılabilmesi amacı ile optimum büyütme olarak belirlenmiştir. Dijital kamera, mikroskobun üst kısmına monte edilmiş olup yüzeylerin resimlerini çekmek için kullanılmıştır. Katmanlardaki değişimler optik mikroskopu yardımıyla gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.9 a) Steuers Diskotom-65 Kesme Cihazı b) Steuers CitoPress Bakalitleme Cihazı

Ayrıca sertlik değişimlerinin ve sertliğe alaşım elementlerinin etkisinin belirlenebilmesi için katmanlar üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde Vickers sertlik skalasında HV0.01(98.07 mN) kuvvet 25 sn uygulanmıştır. Ölçümler Shimadzu HMV-G21 (Vickers, Knoop Indenter) mikro sertlik cihazı'ndan alınmıştır (Şekil 3.10).



a)



b)

Şekil 3.10 a) Optik mikroskop b) Mikrosertlik cihazı

Malzemenin hem tabaka kalınlığı hem de element yoğunluklarını belirlemek için GDOES (Glow Deşarj Optik Emisyon Spektrometre) tekniği ile derinlik profili analizi yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 GDOES cihazı

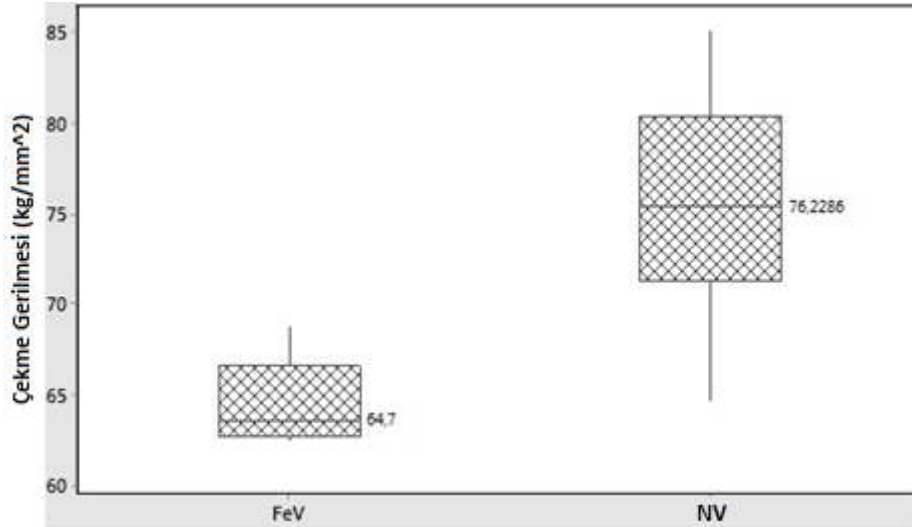
BÖLÜM 4

ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

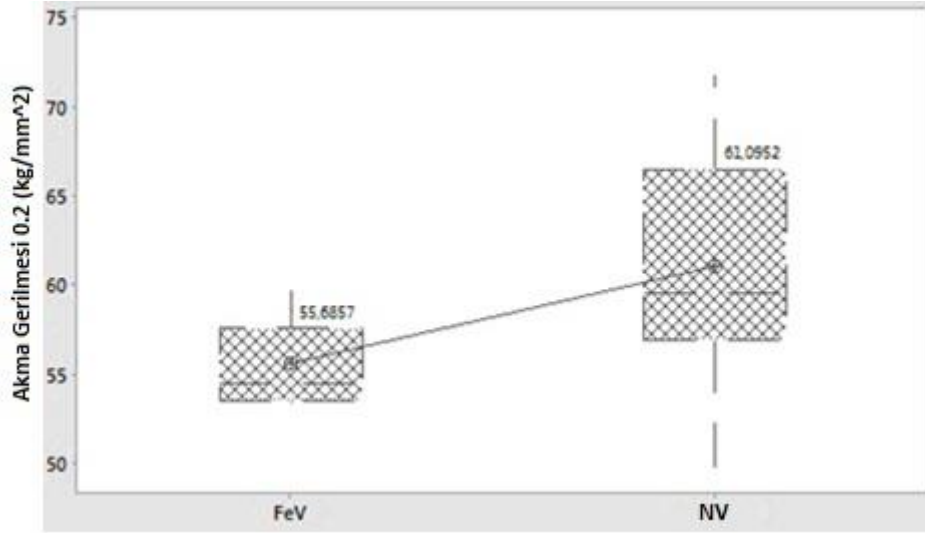
Bu bölüm kapsamında yapılan deneyler ve beraberinde elde edilen analiz sonuçları sunulmuştur. Farklı EKİ parametreleri, farklı dielektrik sıvılar ve çelikte kullanılan farklı konsantrasyonlardaki alaşım elementlerinin işlenen yüzey ve kesit morfolojine etkileri gözlemlenmiştir.

4.1 NUMUNELERİN MEKANİK TEST SONUÇLARI

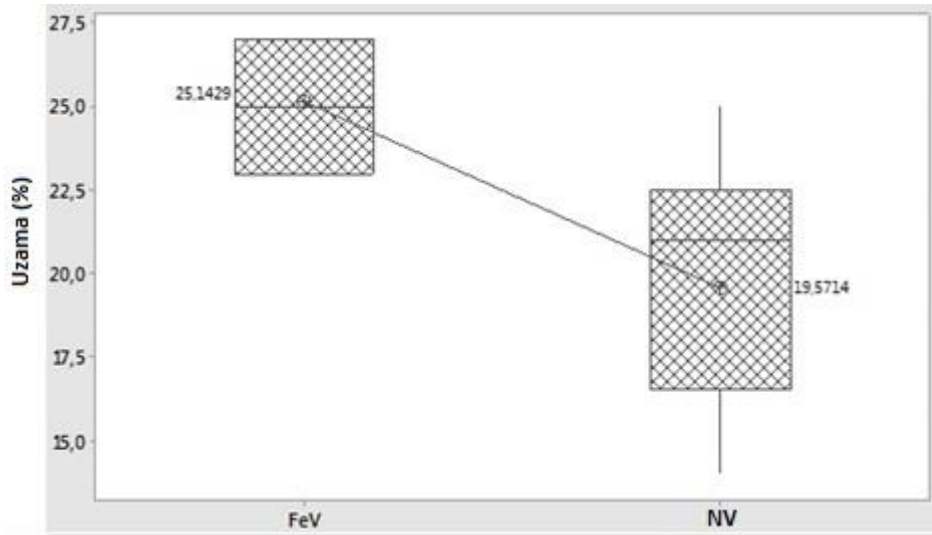
Tesiste gerçekleştirilen denemelerde elde edilen FeV ve NV alaşımlı çelik levhalardan haddeleme sonrası alınan numuneler, normalizasyon tavlaması uygulanmadan mekanik testlere tabi tutulmuştur. Levhalara ait çekme mukavemeti (Şekil 4.1), akma mukavemeti (Şekil 4.2) % uzama (Şekil 4.3) değerlendirildiğinde NV alaşımlı deneme numunelerinin daha yüksek akma, çekme mukavemetine ve kısmen daha düşük yüzde uzama değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, VN bileşikleri vasıtasıyla mekanik özelliklerin iyileştiği dolayısıyla maliyet tasarrufu sağlanabileceği sonucunu desteklemektedir.



Şekil 4.1 NV ve FeV alaşım içerikli dökümlerin çekme mukavemeti kıyaslaması



Şekil 4.2 NV ve FeV alaşım içerikli dökümlerin akma mukavemeti kıyaslaması

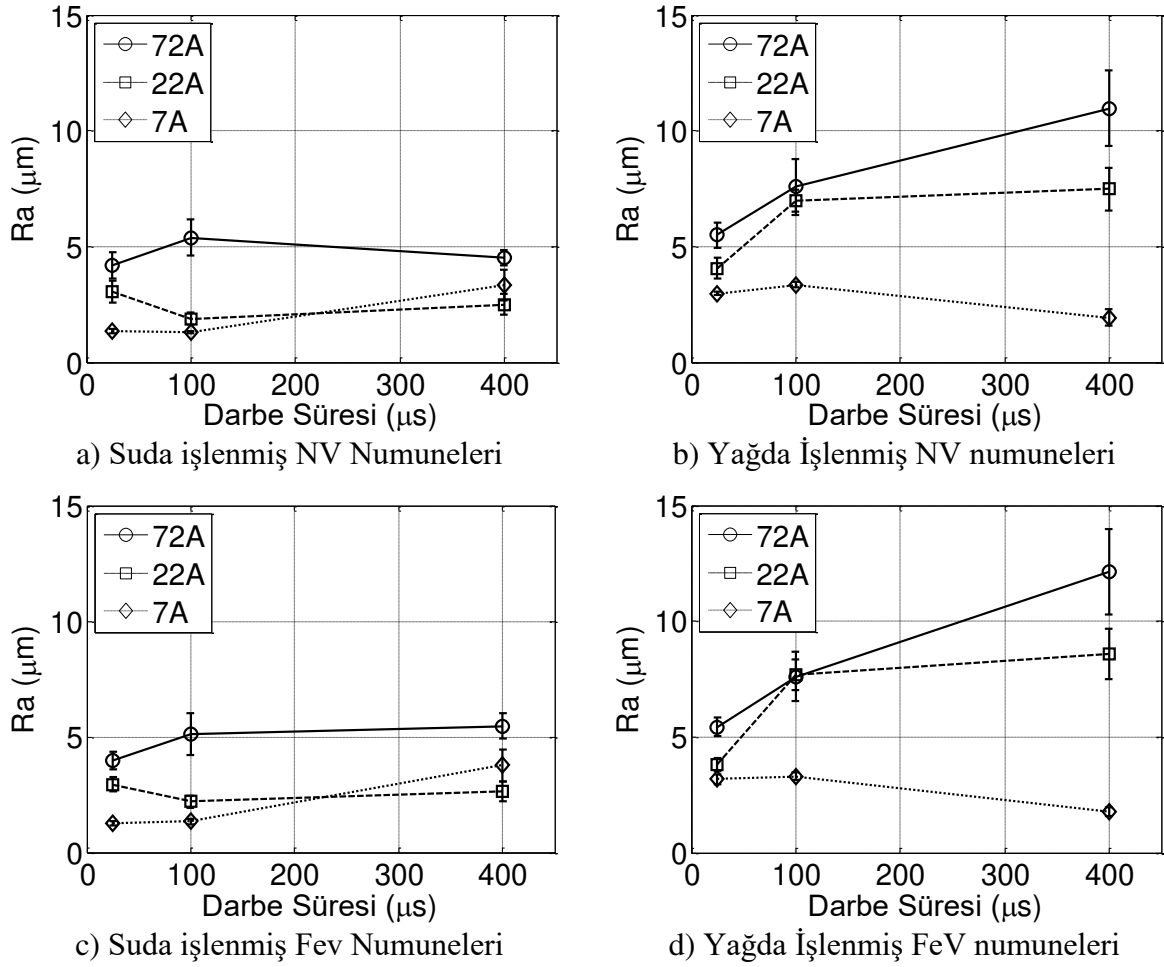


Şekil 4.3 NV ve FeV alaşım içerikli dökümlerin % uzama kıyaslaması

4.2 EKİ YÜZEYLER

4.2.1 Yüzey Pürüzlülüklerinin İncelenmesi

EKİ'ye tabi tutulan numunelerin yüzey pürüzlüğü ölçüm çalışmalarında her bir numuneye ait 8 adet yüzey pürüzlüğü ölçümü yapılmıştır. Bu sonuçların ortalamaları hesaplanarak her bir numunenin ortalama yüzey pürüzlülük değeri belirlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülüğünün darbe akımı ve darbe süresine bağlı değişimi

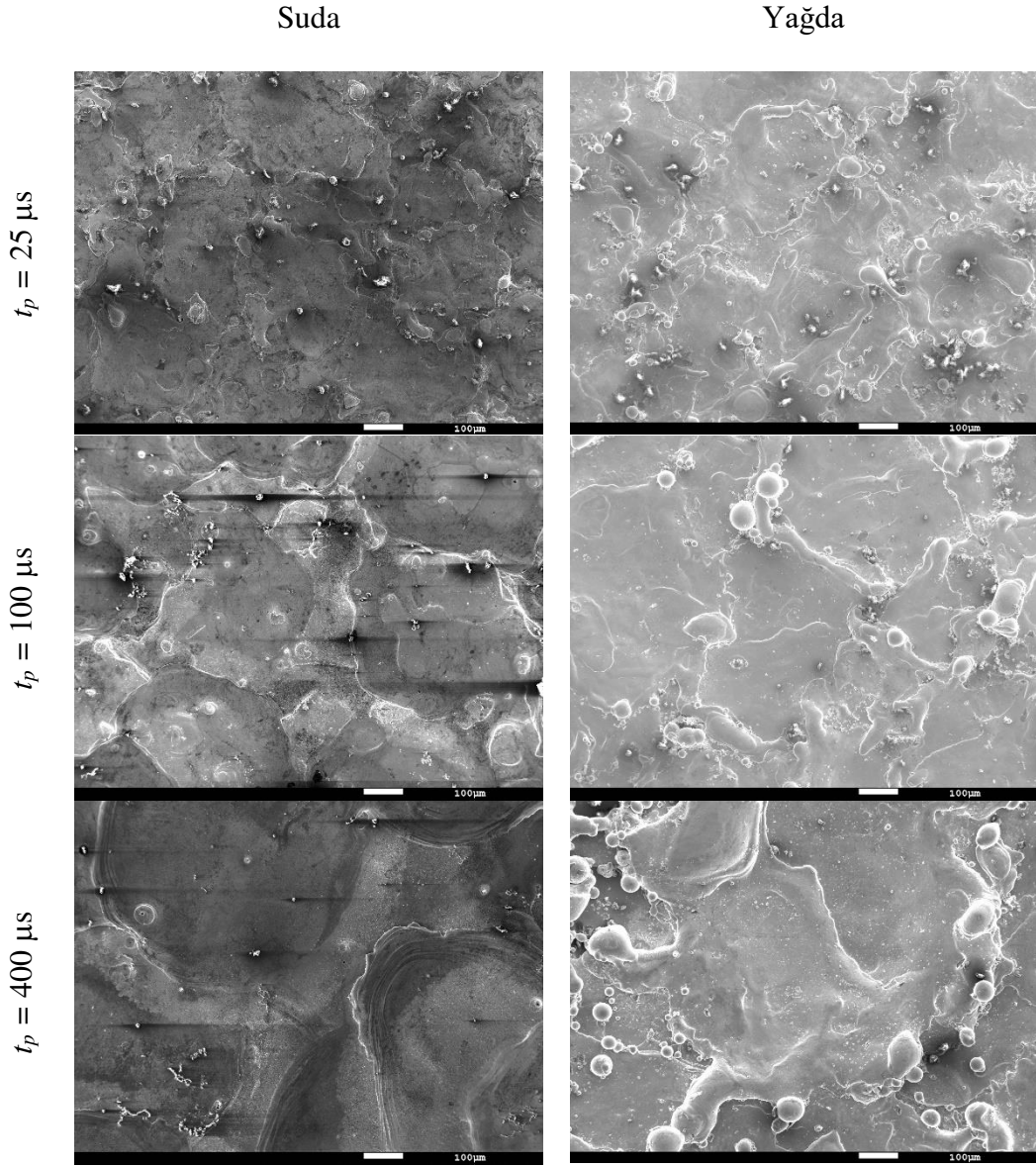
Ölçümlerde pürüzlülük profilin toplam maksimum yüksekliği 100 μm ve ölçüm uzunluğu 4 mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü işleme sırasında kullanılan dielektrik sıvıya bağlı değişimler göstermektedir. Di-elektrik sıvı olarak su kullanıldığında, yükselen darbe süresine karşılık yüzey pürüzlülüğü yüksek darbe akımları için düşüş eğilimi göstermektedir. Bu eğilim, düşük darbe akımları ile işleme yapıldığında ise yükselen darbe süresi ile artma yönündedir

(Şekil 4.4a). EKİ yağda işlendiğinde ise darbe süresinin artışı ile birlikte, yüzey pürüzlülüğünün de attığı görülmektedir (Şekil 4.4b). Deiyonize suda işlenen numunelerde maksimum pürüzlülük değeri yaklaşık 5.5 μm iken gazyağında 12 μm ye ulaşmaktadır. İşleme sırasında kullanılan deionize su (Şekil 4.4c) ya da gazyağı (Şekil 4.4d) dielektrik sıvılarına bağlı olmaksızın, çeliğin alaşımlama tekniğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

4.2.2 Yüzey Topolojisi

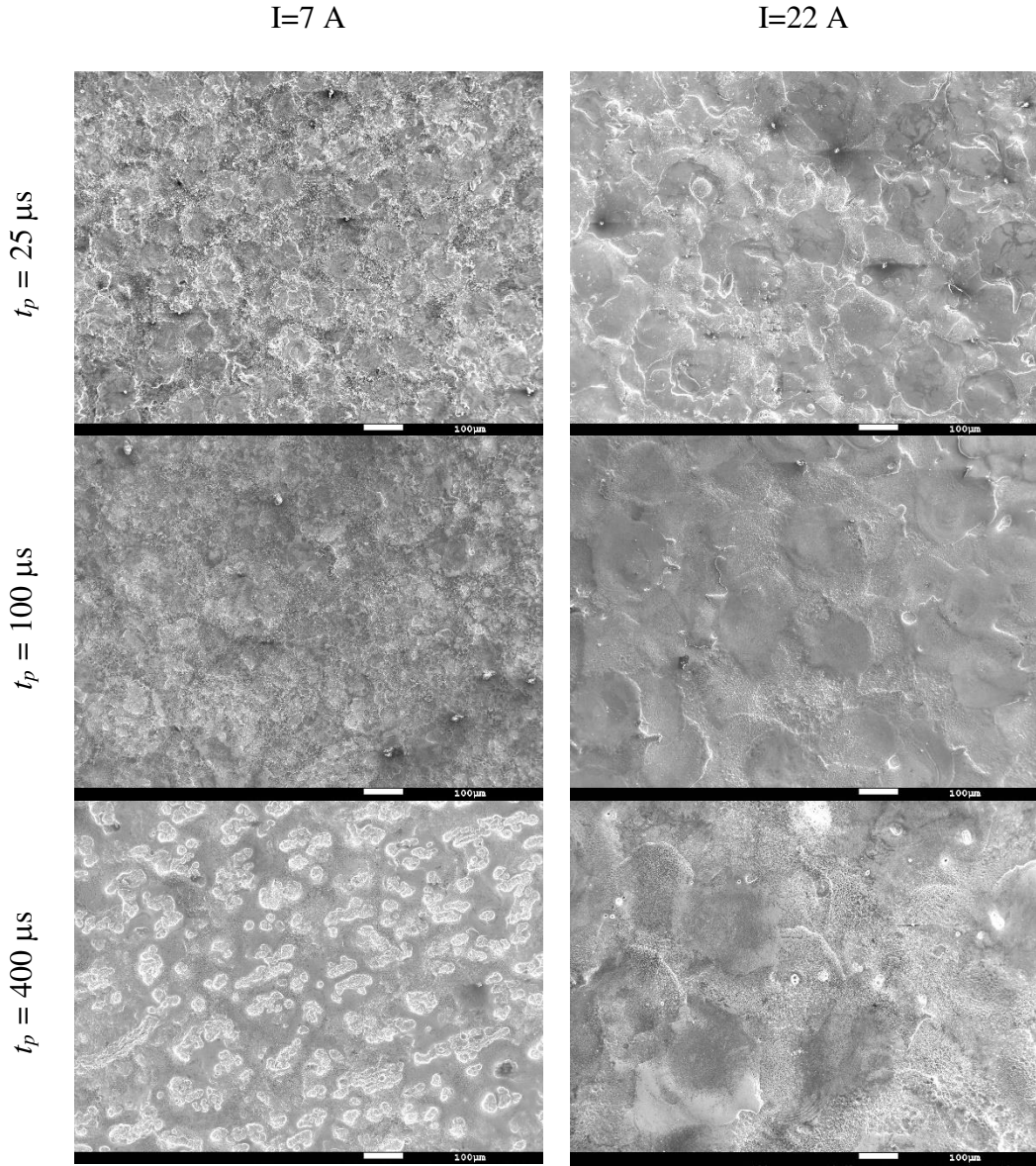
EKİ yüzeyler, çok kısa sürelerde ardışık etkiyen kıvılcımların ısı etkileri sonucu oluşan kraterlerin üst üste binmiş görünümü şeklinde tanımlanabilir. Kıvılcımların sahip olduğu enerjinin yükselmesiyle daha büyük kraterlerin oluşumu beklenir. Darbe süresi arttıkça krater çapı büyüyecek, darbe akımının yükselmesi ile krater derinliği artacaktır. Yağda işlenen numune yüzeyleri bu açıdan incelendiğinde (Şekil 4.5) yükselen darbe süresi ile büyüyen krater çapları görülmektedir. İşleme sırasında 72 A gibi yüksek darbe akımı kullanıldığında benzer bir sonuca dielektrik sıvı olarak su kullanıldığında da karşılaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün yağda işlemeye oranla daha düşük seviyede artışı, suda işlemede kraterlerin daha yayvan şekilde oluştuğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, krater çeperlerinde küre benzeri eklentilerin oluşmaması, ölçülen düşük yüzey pürüzlülük değerlerini desteklemektedir.

Daha düşük darbe akımları ile suda işleme yapıldığında yüzey topolojisi beklenenden farklı bir görünüm sergilemeye başlamıştır. Düşen darbe akımı ile birlikte yüzeyde oluşan kraterler yayvanlaşmaktadır. Ancak işleme sırasında uygulanan yüksek darbe süresi krater içlerinde küçük cep benzeri yapıların oluşumunu desteklemiştir (Şekil 4.6). Özellikle 7A darbe akımı ve 400 μs darbe süresi kullanılarak işleme yapıldığında cep benzeri yapılar belirgin bir görünüm sergilemiştir. Yüzeylerde belirgin oluşan bu değişimler, kıvılcım ile işleme sırasında elektriksel boşalım kanalının kırılarak ikincil boşalım kanallarının oluşumu ile açıklanabilir.



Şekil 4.5 72 A darbe akımında EKİ'ye tabi FeV mikro alaşımlı çeliklerin SEM görüntüleri

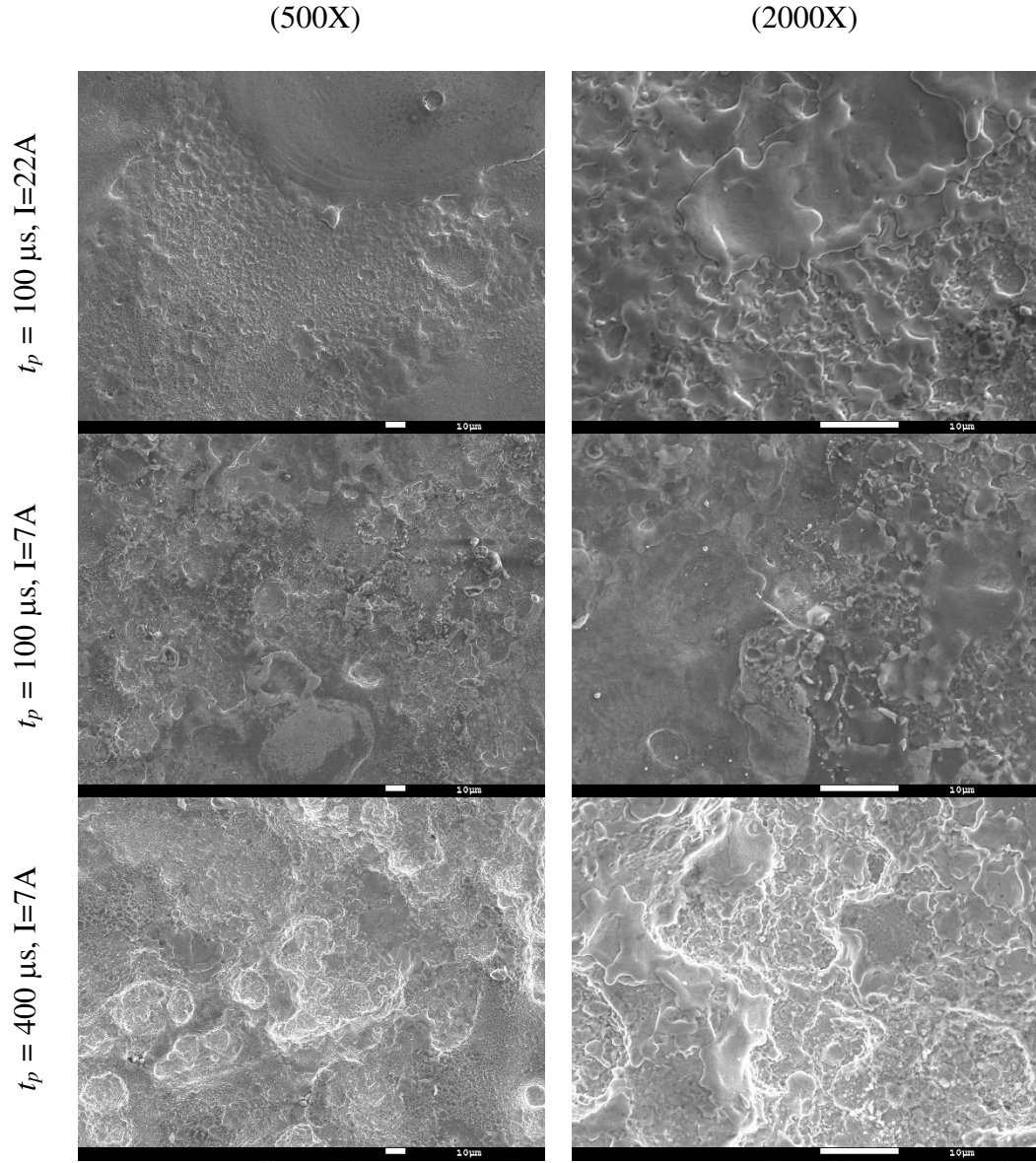
Tekil bir biçimde genişleyen kıvılcım, artan yüksek darbe süreleri sonucunda tekil yapısını koruyamamaktadır. Darbe süresinin bir eşik değerinde kanal çevresinde oluşan elektriksel alan, düşük dirençli ikincil boşalım kanallarının oluşması için yeterli seviyededir. Cep benzeri yapılar yüksek büyütme oranlarında incelendiğinde, ikincil kıvılcımların izlerine yoğun biçimde karşılaşmıştır (Şekil 4.7). EKİ ile suda işlenen FeV yada NV ile alaşımlanmış çeliklerin benzer topografik görünümü, iş parçası alaşımlama tekniğinin ikincil kıvılcımların oluşumu üzerinde etkisinin olmadığını ortaya koymuştur.



Şekil 4.6 Suda işlenmiş NV alaşımlı numunelerin SEM görüntüleri

Gazyağında yapılan işlemlerde NV alaşımlı çeliklerde FeV alaşımlı çeliklere göre daha küçük çaplı ve kısmen yayvan kraterler göze çarpmaktadır (Şekil 4.8). Gazyağı yani hidrokarbon bazlı dielektrik sıvı kullanımında karbon bileşiklerinin kıvılcımın ısı etkisi altında eriyik metal havuzunun kaynamasına yol açarak, krater çeperlerinde küre benzeri eklentilerin daha yoğun biçimde oluşmasını sağlamıştır.

Darbe süresi sonunda eriyik metal aniden dielektrik sıvı ile karşılaşmakta ve hızla katı faza geçmektedir. Krater çeperlerinde, gazyağında işlenen numunelerde özellikle yüksek darbe akımlarında işlenen numunelerde küresel yapılar belirginleşmektedir (Şekil 4.9).

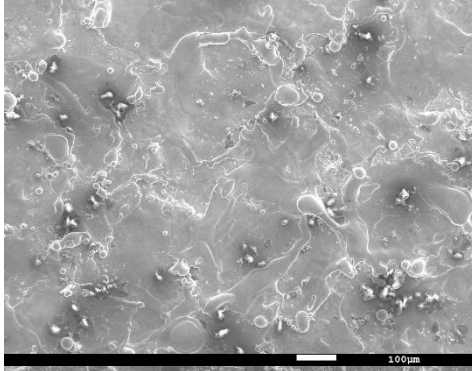


Şekil 4.7 Suda işlenmiş NV alaşımlı çeliklerin SEM görüntüleri

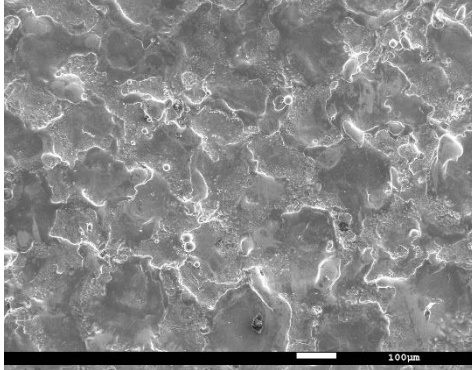
FeV Alaşımlı elikler

NV Alaşımlı elikler

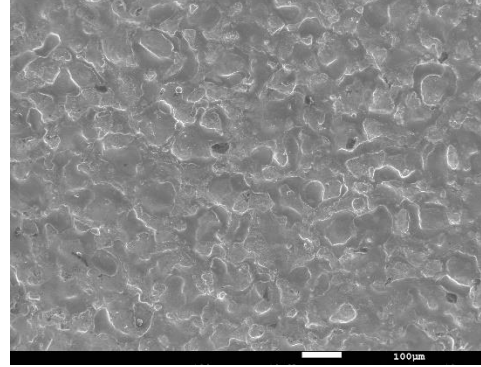
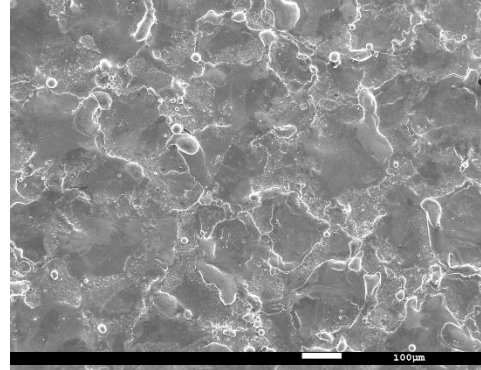
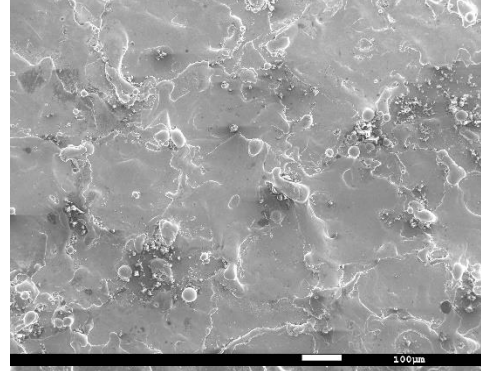
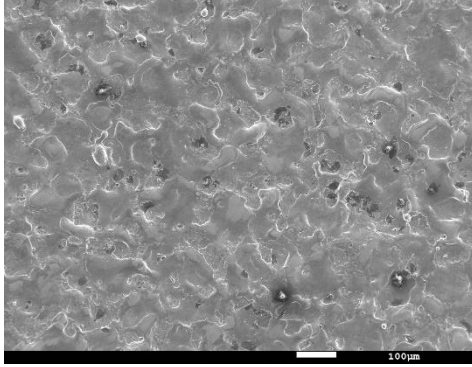
$t_p = 25 \mu s, I=72A$



$t_p = 25 \mu s, I=22A$



$t_p = 25 \mu s, I=7A$



şekil 4.8 Gazyağında EKİ'ye tabi numunelerin SEM görüntüleri (100X)

FeV Alaşımlı Çelikler

NV Alaşımlı Çelikler

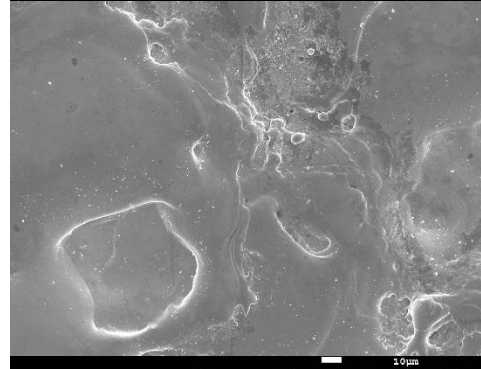
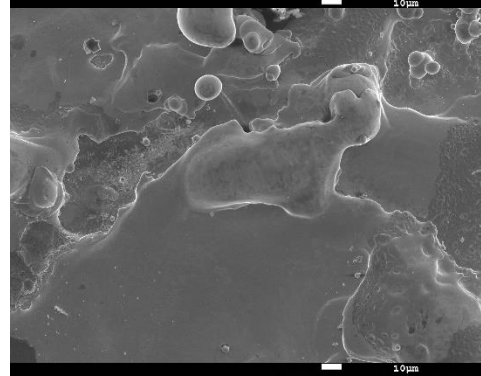
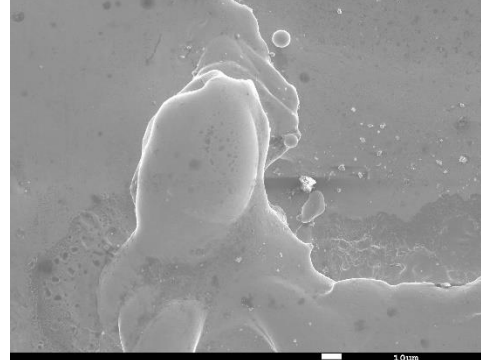
$t_p = 100 \mu s, I=72A$



$t_p = 100 \mu s, I=22A$



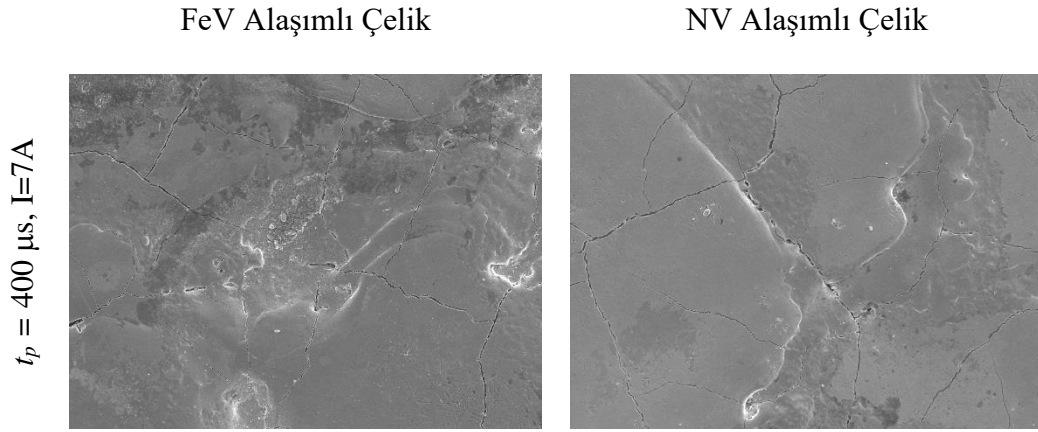
$t_p = 100 \mu s, I=7A$



Şekil 4.9 Gazyağında EKİ'ye tabi numunelerin SEM görüntüleri (500X)

EKİ işleminin doğası gereği anlık ve küçük bir alanda çok yüksek sıcaklara ulaşılmaktadır (yaklaşık 20 000 K). Yükselen sıcaklık ile birlikte eriyik forma geçen kıvılcım temas yüzeyi, kıvılcım süresinin sonlanması ile aniden soğuk dielektrik sıvı ile karşı karşıya kalarak soğumaktadır. Bu sırada ana metal oda sıcaklığındadır ve üstünde yüksek sıcaklıkta soğumaya başlayan eriyik malzeme büzülmemektedir. Ana metal malzemesinin sabit sıcaklıkta olduğu düşünüldüğünde, soğuma işleminin sonunda yüzeyde yüksek kalıntı çekme gerilmelerinin oluşması beklenir. Oluşan bu yüksek çekme gerilmeleri kimi zaman yüzeyde bir mikro çatlak oluşumu ile sonuçlanır. Özellikle bu duruma işleme sırasında düşük darbe akımları ve yüksek

darbe süreleri ile işleme yapıldığı durumlarda karşılaşılmaktadır. FeV ve NV çelik numuneler işlendiğinde benzer sonuçlar ile karşılaşılmıştır. Özellikle 7A darbe akımı ve 400 μ s darbe süresi kullanılarak suda işlenen numunelerde birbirini yaklaşık dik açıda kesen mikro çatlak ağları ile karşılaşılmıştır (Şekil 4.10). Ancak NV ve FeV alaşımlı çelikler karşılaştırıldığında, yüzey morfolojisi açısından önemli farklar gözlemlenmemektedir. Aynı işleme koşulları için, mikro çatlakların yüzeyde dağılımları her iki alaşım elementi için karşılaştırıldığında farklılık görülmemiştir.

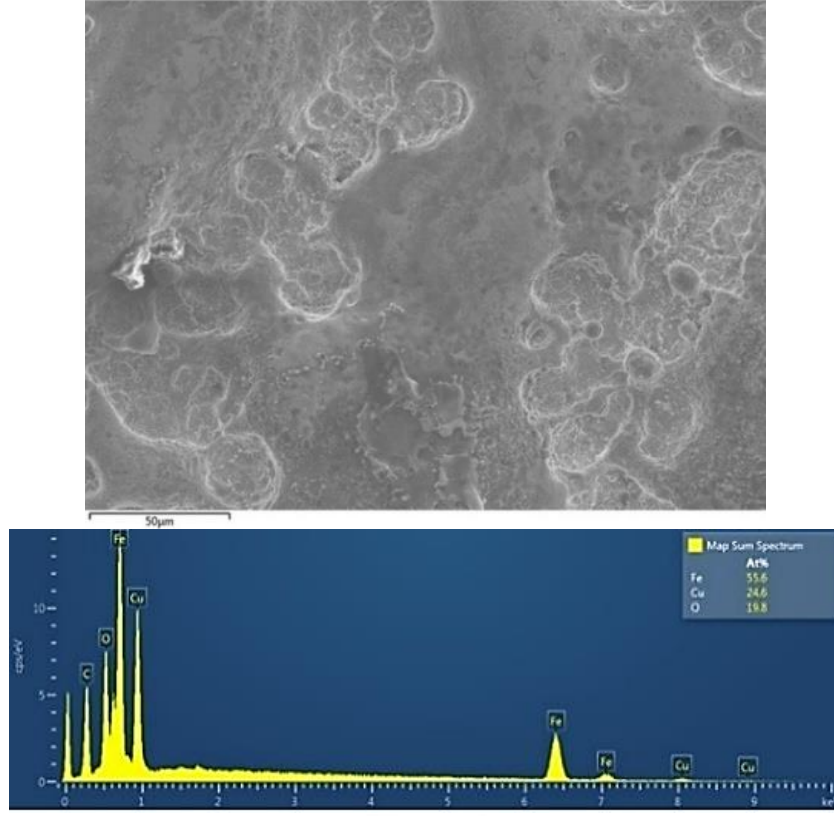


Şekil 4.10 Gazyağında EKİ'ye tabi numunelerin SEM görüntüleri (500X)

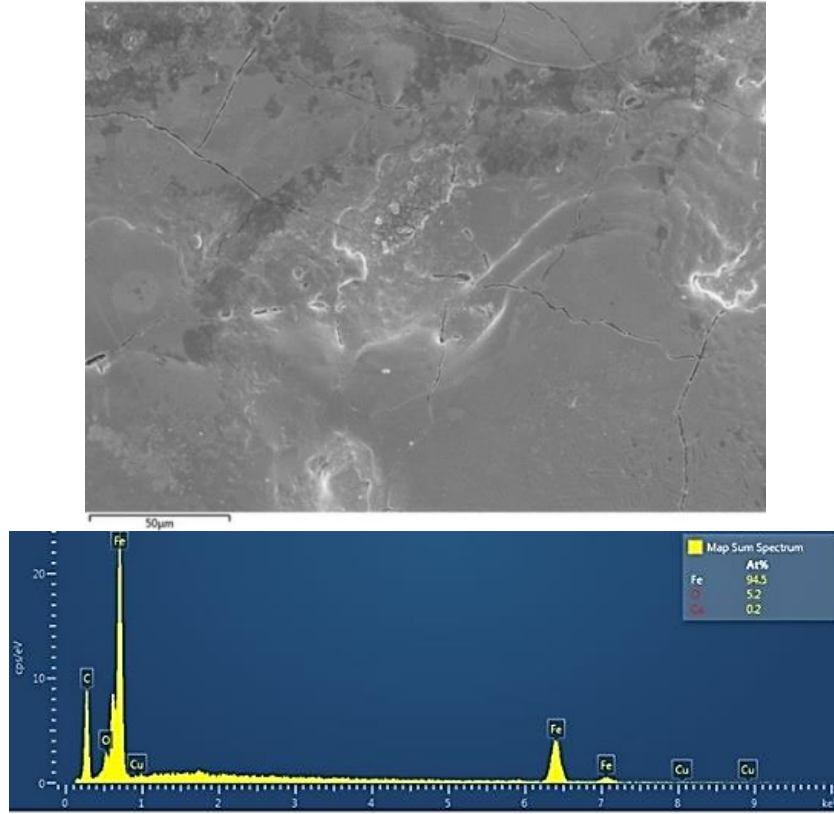
7A darbe akımı ve 400 μ s darbe süresi ile suda ve gazyağında (Şekil 4.11) işlenen yüzeylerin EDX spektrometrik izleri karşılaştırıldığında, suda işlenen yüzeye takım elektrot malzemesinin daha yüksek oranda taşındığı görülmektedir. Diğer işleme parametreleri ile işlenen yüzeyleri incelendiğinde takım elektrotundan yüzeye malzeme taşınımının özellikle yüzeyde cep benzeri oluşumların meydana geldiği işleme koşullarında belirginleştiği görülmüştür.

$t_p = 400 \mu s, I=7A$

Suda



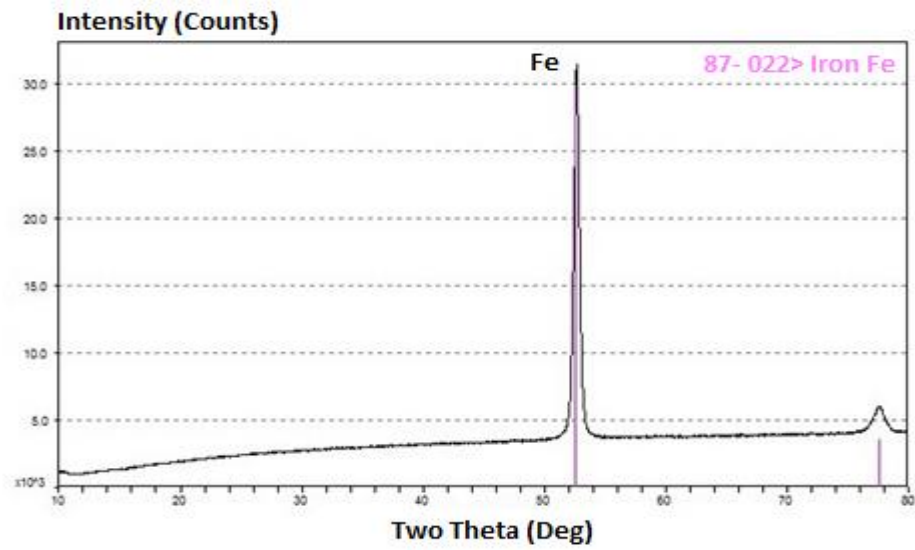
Yağda



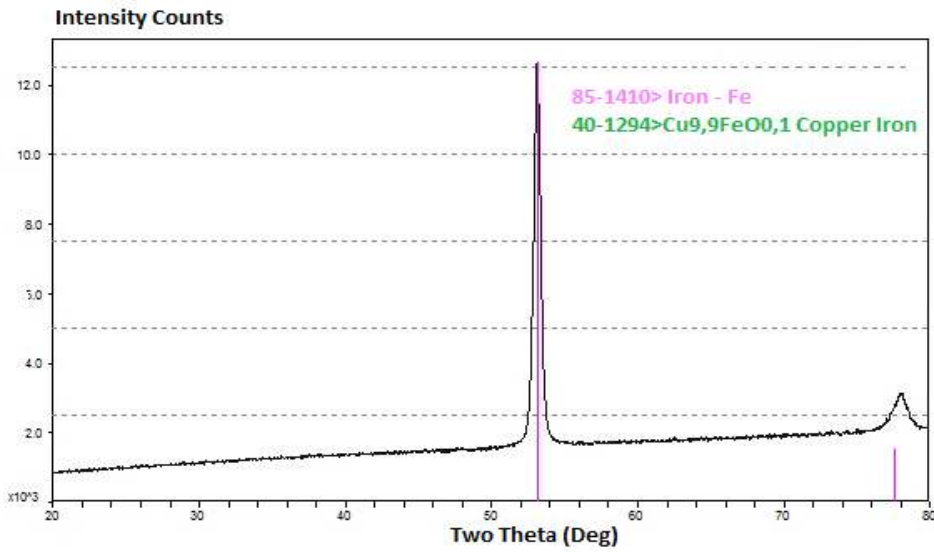
Şekil 4.11 FeV alaşımlı çeliklerin EDS izleri

4.2.3 X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD) İle İşlenen Yüzeylerin Analizi

Çalışmada kullanılan Cu ($k\alpha$) tüplü cihaz ile, ışın odaklaması (focusing beam) yöntemi ile ölçüm yapılmış ve 40 kV, 40 mA konfigürasyonunda 1.6 kW güç ile ışınlam şiddet değerleri alınmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada yüksek darbe akımı (72 A) ve 25, 100 ve 400 μ s'de deiyonize su ve gazyağında işlenmiş FeV ve NV alaşımlı çelik numunelerin yüzeylerindeki faz incelemeleri yapılmıştır. 2θ 0 ile 120 derece arasındaki kırınım izleri incelenmiştir. Suda işlenen yüzeylerin kırınım izleri değerlendirildiğinde (Şekil 4.12) kullanılan alaşımlandırma yönteminin yüzey faz yapısında bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.

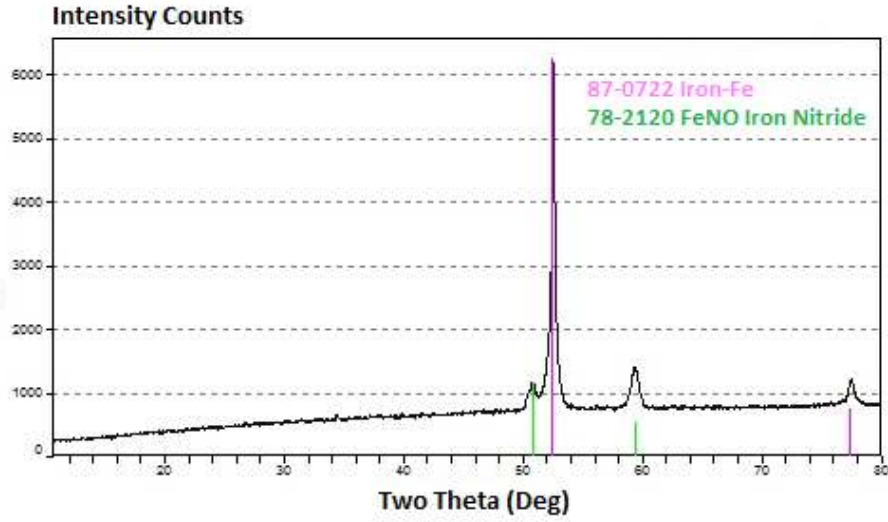


a)

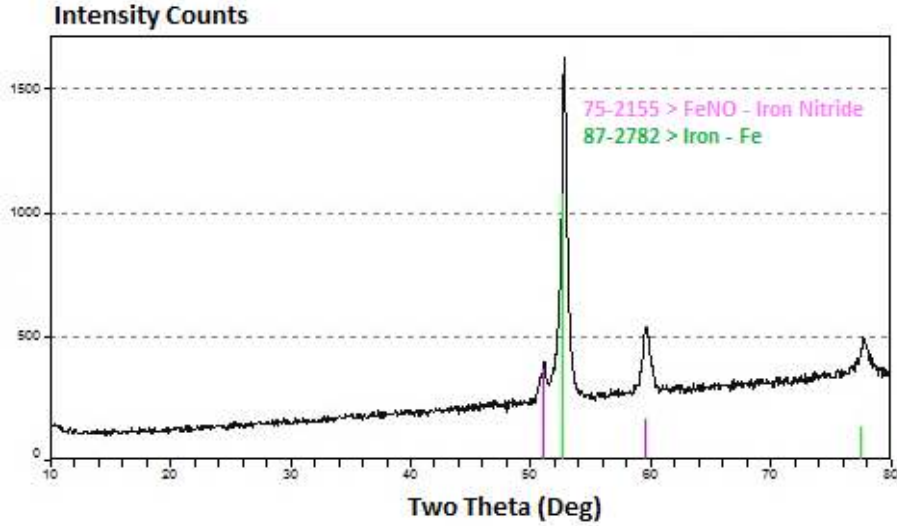


b)

Şekil 4.12 Deiyonize suda 72 A darbe akımı ve 100 μ s darbe süresinde işlenmiş
a) FeV alaşımlı çelik numune, b) NV alaşımlı çelik numune



a)



b)

Şekil 4.13 Gazyağında 72 Amper darbe akımı ve 100 µs darbe süresinde işlenmiş
a) FeV alaşımlı çelik numune, b) NV alaşımlı çelik numune

Analizlerde malzemeyi oluşturan ana element demir (Fe), çelik alaşımlarında ve elektrotta yer alan bakır (Cu) ve NV alaşımında demir nitrit FeNO gözlemlenmektedir. Benzer şekilde kıvılcımla işleme gazyağında gerçekleştirildiğinde (Şekil 4.13) FeNO ile birlikte yüzeyde karmaşık FeC oluşumları ile birlikte östenit fazının varlığı tespit edilmiştir. Uygulanan farklı darbe süreleri ve akımları ile işlenen yüzeylerin XRD analizleri yüzey faz yapısının, kullanılan elektriksel parametrelere bağlı bir değişime yol açmadığını göstermiştir.

4.3 KESİT ANALİZLERİ

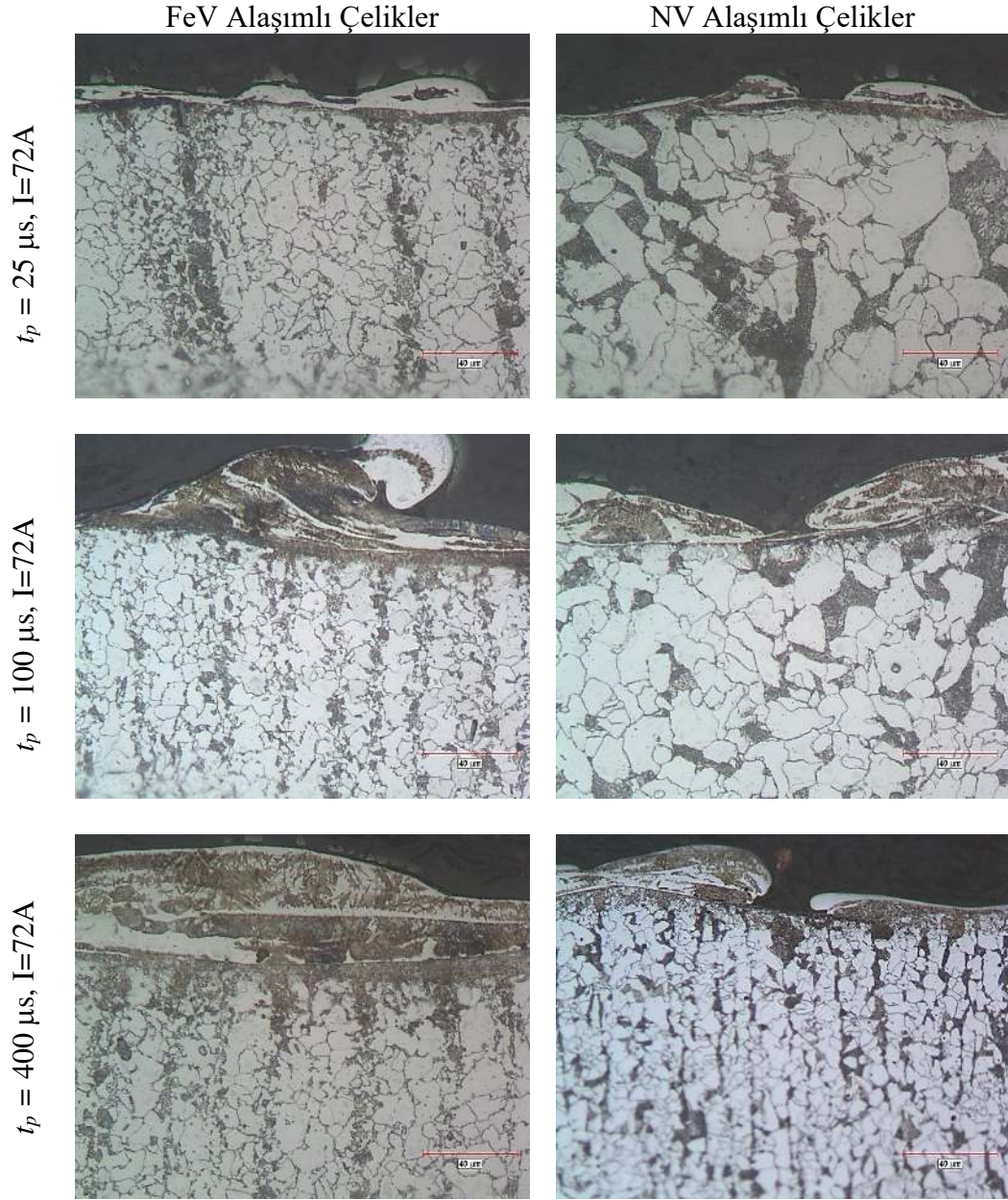
4.3.1 Kesit Mikroyapıları

Elektro erozyon ile işleme sonrası yüzeylerin kesit görünüşleri temelde üç katman olarak görülmektedir. En üst katman, işlem sırasında hızla eriyen ve katılaşan beyaz tabakadır. Kullanılan dağlama sıvısı bu katmanı belli ölçüde ortaya çıkarmıştır. Bu katmanda yapılan incelemeler sonrası işlemin hızlı erime ve soğuma etkileri kesin olarak gözlemlenebilmektedir. Yapılan kesit incelemelerinde ve fotoğraflamalarında üst beyaz tabakanın iğnemsisi ve martensitik olarak görülmesi ana metalden çok daha sert olduğu izlenimini vermektedir. Bu katmanın altında, katı fazda işlemin ısı etkilerine maruz kalmış bir tabaka bulunmaktadır ve bu katmanı ana metal takip etmektedir.

Gazyağında 72 A gibi yüksek bir darbe akımı kullanılarak işlenen yüzeylerin kesit mikroyapıları (Şekil 4.14) darbe süresinin artışı ile beyaz katman kalınlığındaki artışı ortaya kaymaktadır. 25 μ s darbe süresi kullanıldığında beyaz katman içerisinde az miktarda martensitik oluşumlar iğnemsisi görünüşleri ile ayırt edilebilmektedir. 100 μ s darbe süresi kullanıldığında iğnemsisi yapılar yoğun biçimde artarak katılaşmanın karmaşık doğasını ortaya koymaktadır. Eriyik metalin akışı, krater çeperlerinde yer alan küre benzeri bir eklentinin mikro yapısı gözlemlenebilmektedir. Özellikle, bir kıvılcım atlama süresi sonunda, dielektrik sıvı ile karşılaşan eriyik metalin özelliksiz görünümü katılaşmanın çok hızlı geliştiğini ortaya koymaktadır. Eriyik içerisinde yer alan küçük boyutlu elementlerin yer değiştirmeye fırsat bulamadan martensitik dönüşüme uğradığı düşünülebilir. Daha önce yapılan çalışmalar önemli oranda kalıntı östenitik fazın beyaz tabaka içerisinde yer aldığını göstermiştir (Ekmekci 2007). Daha önce gazyağı ile işlenen numunelerin yüzeyinde yapılan XRD analizleri bu sonucu desteklemektedir.

400 μ s darbe süresi kullanıldığında ise tekrar katılaşan beyaz katman kalınlaşmaktadır. Ayrıca, beyaz katman altında katı fazda dönüşüme uğrayan bir katman artık net biçimde görülebilmektedir. Bu bölgede tane yapısı beklenildiği gibi oldukça incedir ve ardışık biçimde yüzeye etkiyen kıvılcımların temperleme izlerini üzerlerinde taşımaktadırlar. Genel olarak FeV ve NV alaşımlı çelikler karşılaştırıldığında, NV alaşımlı çeliklerde beyaz katman

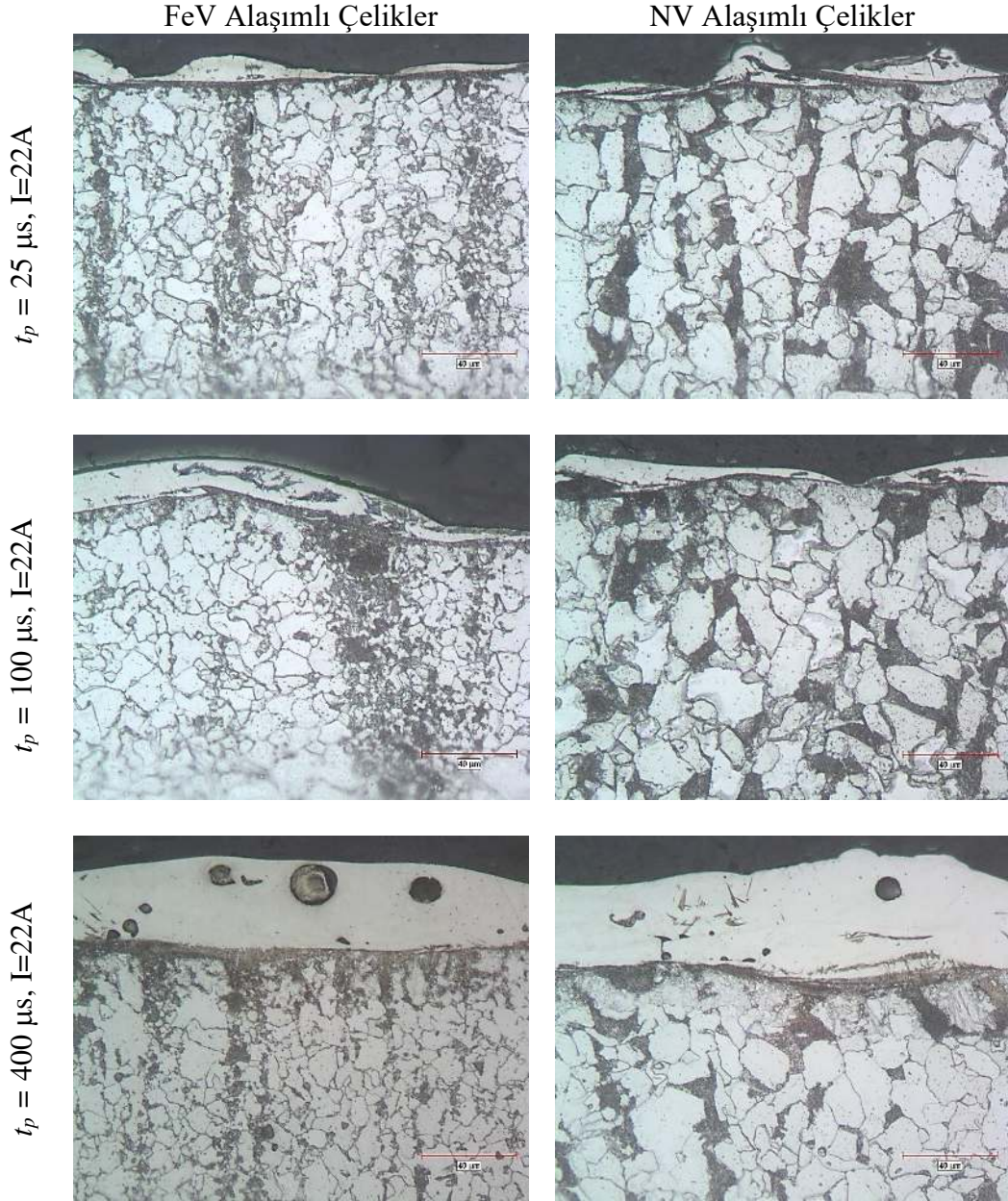
kalınlığının çok düşük oranda daha ince oluştuğu ve içlerinde daha yoğun iğnemsı martenzitik yapıların oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.14 Gazyağında EKI'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri (500X)

Darbe akımı 22 A seviyesine indirildiğinde beyaz tabaka kalınlığında düşüş görülmektedir (Şekil 4.15). İşleme sırasında 25 ve 100 μs darbe süresi kullanıldığında beyaz tabaka içerisinde kısmen iğnemsı tanelerin oluştuğu görülmektedir. Ancak 400 μs darbe süresi kullanıldığında ise neredeyse tüm yeniden katılmış katman beyaz görünümünü korumaktadır. Katman içerisinde gaz boşlukları bu numuneler için ilgi çekicidir. İşleme sırasında, eriyik malzeme

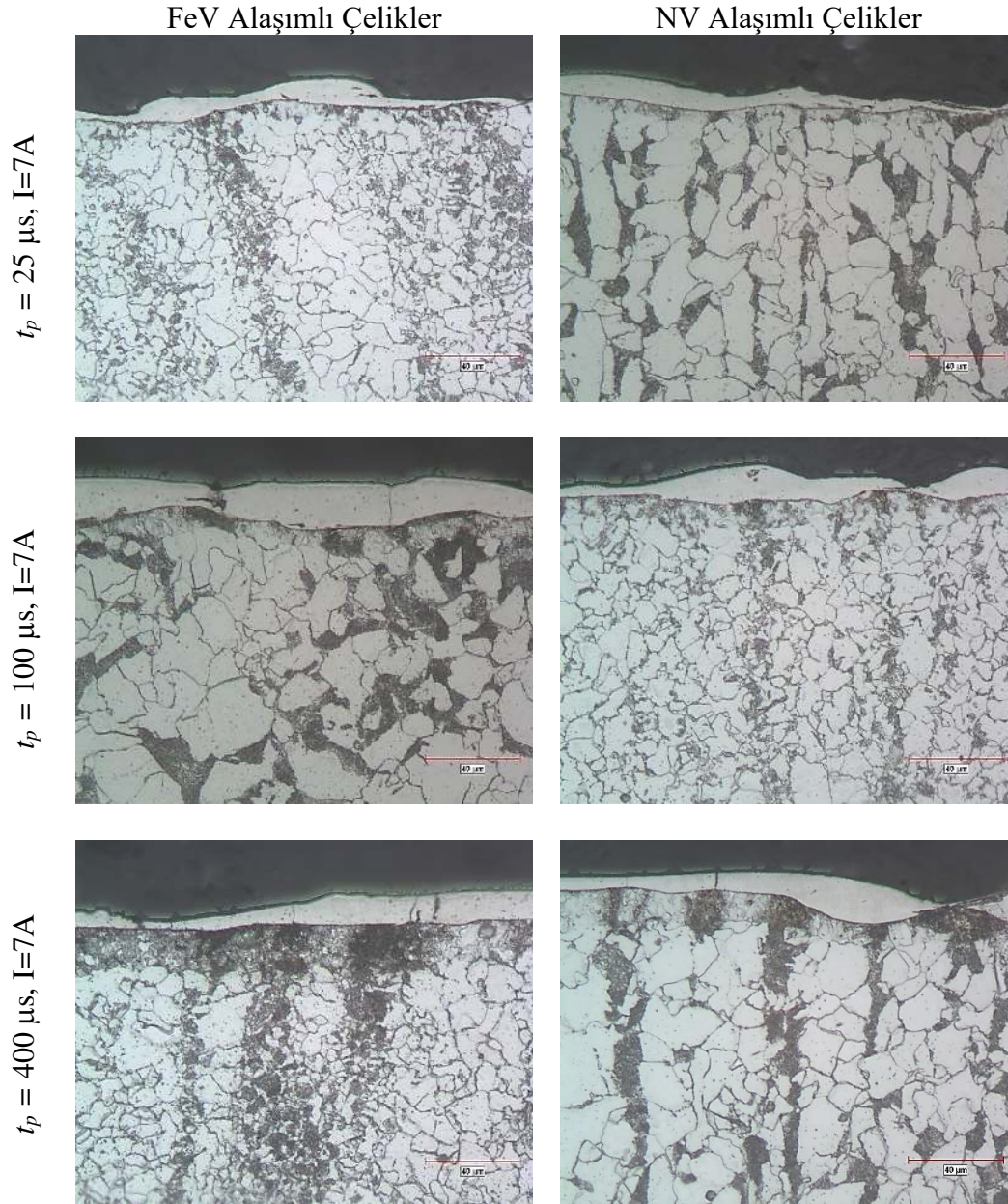
küçük bir dalga oluşturarak, özellikle krater çeperleri etrafında gazları hapsedmekte ve hızlı katılaşma sonucunda gözenekler oluşmaktadır. FeV ve NV çelikleri benzer görünümünü sergilemekle birlikte, FeV çeliklerin işlenmiş yüzeyleri daha şiddetli işleme etkililerini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.15 Gazyağında EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri (500X)

Darbe akımı 7 A seviyesine düşürülerek yapılan işlemlerde ise kesit boyunca daha homojen dağılmış ve özelliksiz yapısını koruyan yeniden katılaşmış bir katman ile karşılaşılmaktadır (Şekil 4.16). Düşük akım seviyelerinde beyaz katman kalınlıkları artan darbe süresi ile birlikte beklenen ölçüde artmamaktadır. Buna karşılık, yeniden katılaşmış katmanın hemen altında yer alan ve katı

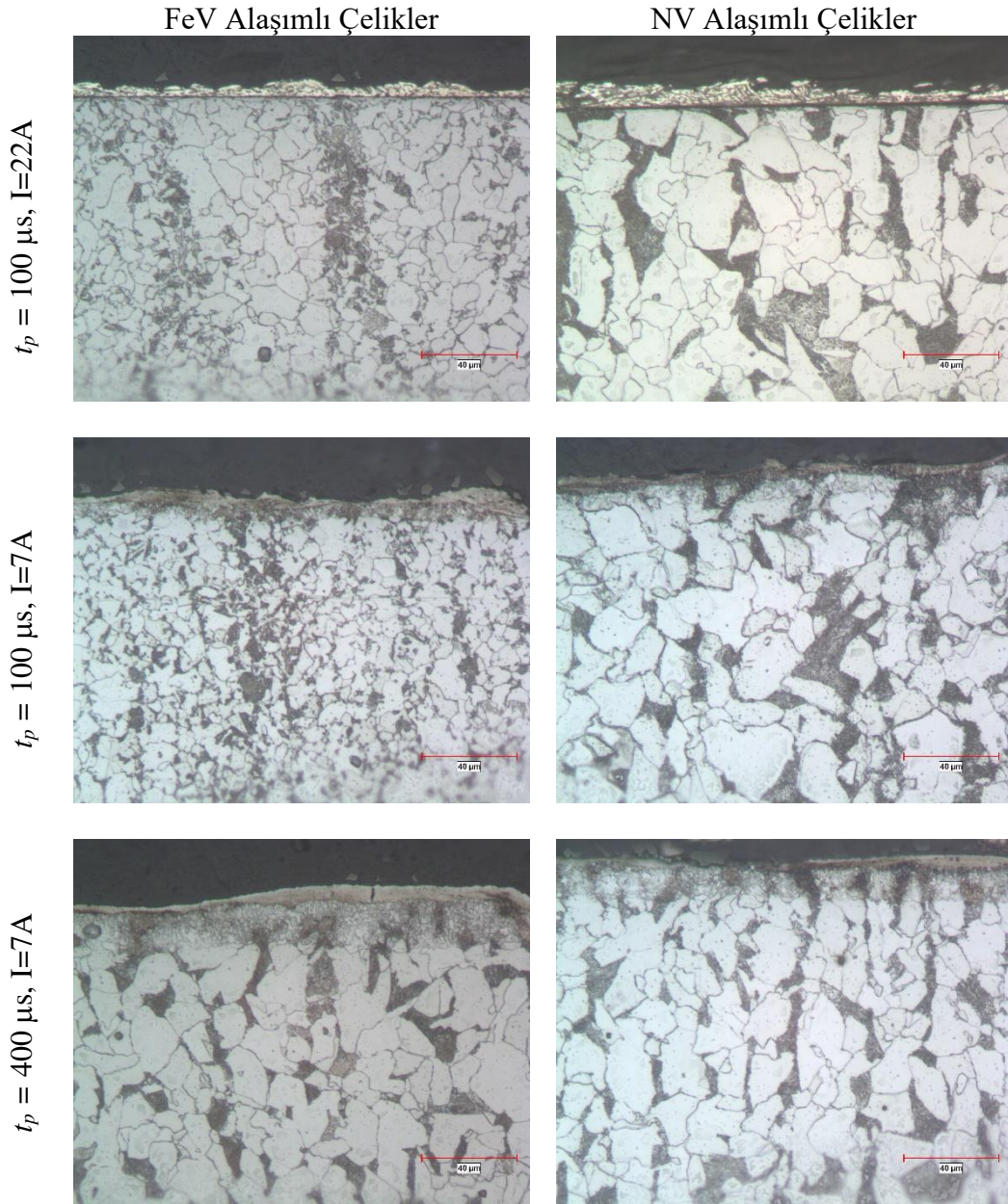
fazda dönüşümlerin görüldüğü ısı etkilenmiş katman kalınlıklarının hızla arttığı görülmektedir. Ayrıca kesit üzerinde mikro çatlakların yeniden katılaşmış katman içerisinde yer aldığı ve asıl çeliğe doğru nüfuz etmediği görülmektedir. FeV ve NV alaşımlı çeliklerde daha önce FeV çeliklerinin EKİ etkilerini daha şiddetli biçimde sergilediği belirtilmişti. Düşen akım seviyeleri benzer bir eğilimi desteklemektedir. NV çeliklerde yeniden katılaşan katmanların kalınlıkları FeV çeliklerine nazaran ince ve içerisinde daha az sayıda mikro çatlak barındırmaktadır.



Şekil 4.16 Gazyağında EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri (500X)

EKİ suda yapıldığında ise, işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerlerinde olduğu gibi, kullanılan akım ve darbe süresine bağlı değişimler ancak işleme mekanizmasının farklılaşması durumunda

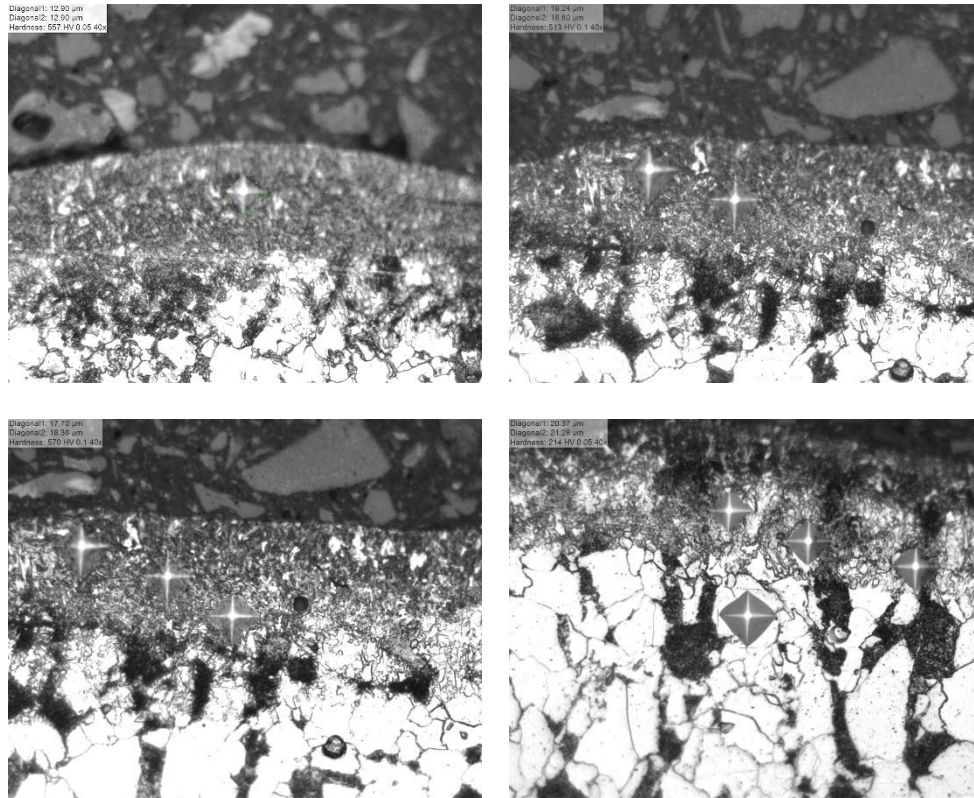
açıklanabilir. Daha önce düşük darbe akımı ve yüksek darbe süresi kullanılarak yapılan işlemlerde ikincil kıvılcımların etkin rol oynadığı belirtilmişti. Numunelerin kesit mikro yapıları (Şekil 4.17) incelendiğinde ise kalın bir yeniden katılaşmış katmanın 22A darbe akımı ve 100 μ s darbe süresi kullanıldığında oluştuğunu göstermektedir. Bu işleme koşulları altında ısı etkilenmiş katman kalınlığı oldukça incedir. Darbe akımının 7 A seviyesine düşürülmesiyle beyaz katman kalınlığı hızla düşmüştür ve daha kalın bir ısı etkilenmiş katman oluşmuştur. Darbe süresi 400 μ s seviyesine çıkarıldığında ise daha kalın bir beyaz ve ısı etkilenmiş katman yer almaktadır. Mikro çatlaklar beyaz katman içerisinde özellikle FeV çeliklerinde gözlenmektedir.



Şekil 4.17 Suda EKİ'ye tabi numunelerin kesit görüntüleri

4.3.2 Derinliğe Bağlı Mikrosertlik Değişimleri

EKİ ile işleme sonucunda oluşan ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarının düşük olması mikro sertlik analizlerinin yapılmasını güçleştirmektedir. Yüksek darbe akımı ve darbe süresi kullanıldığında yeniden katılaştıran ve ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarının incelenen numuneler arasında en yüksek değere ulaştığından dolayı 72 amper darbe akımı ve 400 μ s darbe süresinde suda ve gazyağında işlenen FeV ve NV alaşımlı çelik numuneler mikro sertlik analizleri için seçilmiştir. Numunelerin yüzey noktaları referans alınarak dağlama yapılmış durumda mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.18). En üste yer alan yeniden katılaştırmış katmandan başlayarak asıl çeliğe ulaşıncaya dek birçok katmandan ölçüm alınmıştır. Katmanlar; WL: Beyaz tabaka ya da yeniden katılaştırmış katman, HAZ: Isıl etkilenmiş katman, B: Ana metal biçiminde etiketlenmiştir.



Şekil 4.18 Tabakalar ve ana metalden alınan sertlik izleri

Her bir katmanda tek bir sertlik değeri için en az 3 ölçümün ortalaması alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde (Çizelge 4.1) FeV ve NV alaşımlı çeliklerin yeniden katılaştıran ve ısıl etkilenmiş katman mikro sertliklerinde farklılaşmalar oluşturduğu görülmüştür. Bu farklılaşmalar iş

parçası malzemesine özgü bir eğilim ortaya koymaktadır. Bu eğilim, ölçüm sonuçlarının her bir katman için elde edilen tüm ölçümlerin ortalama değerleri ve standart sapmaları biçiminde özetlendiğinde net biçimde görülebilmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1 Ortalama sertlik değerleri

Yüzeyden Tabaka Kalınlığı (mm)	Ortalama Sertlik (HV)	Numune Numarası	Tabaka	Dielektrik Sıvı	Alaşım
0.013	562.3	5	WL	Su	FeV
0.021	517.0	5	WL	Su	FeV
0.027	536.3	5	WL	Su	FeV
0.027	452.7	5	HAZ	Su	FeV
0.034	438.0	5	HAZ	Su	FeV
0.038	372.0	5	HAZ	Su	FeV
0.054	200.0	5	B	Su	FeV
0.074	178.0	5	B	Su	FeV
0.058	179.7	5	B	Su	FeV
0.010	468.5	6	WL	Su	NV
0.012	525.8	6	WL	Su	NV
0.018	482.0	6	WL	Su	NV
0.026	585.3	6	HAZ	Su	NV
0.031	604.3	6	HAZ	Su	NV
0.038	559.3	6	HAZ	Su	NV
0.054	235.8	6	B	Su	NV
0.076	231.5	6	B	Su	NV
0.100	216.5	6	B	Su	NV
0.016	727.3	23	WL	Yağ	FeV
0.027	794.0	23	WL	Yağ	FeV
0.037	721.0	23	WL	Yağ	FeV
0.046	444.0	23	HAZ	Yağ	FeV
0.048	419.7	23	HAZ	Yağ	FeV
0.061	405.0	23	HAZ	Yağ	FeV
0.095	172.0	23	B	Yağ	FeV
0.118	167.0	23	B	Yağ	FeV
0.147	161.0	23	B	Yağ	FeV
0.024	503.0	24	WL	Yağ	NV
0.029	520.3	24	WL	Yağ	NV
0.043	462.0	24	WL	Yağ	NV
0.048	442.3	24	HAZ	Yağ	NV
0.053	574.0	24	HAZ	Yağ	NV
0.062	517.0	24	HAZ	Yağ	NV
0.077	219.3	24	B	Yağ	NV
0.087	238.3	24	B	Yağ	NV
0.115	219.3	24	B	Yağ	NV

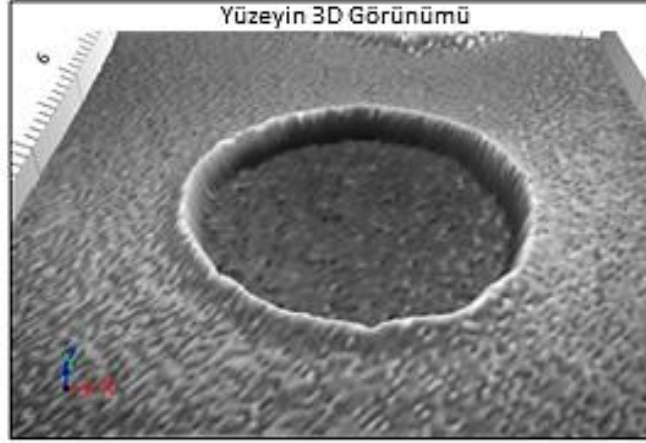
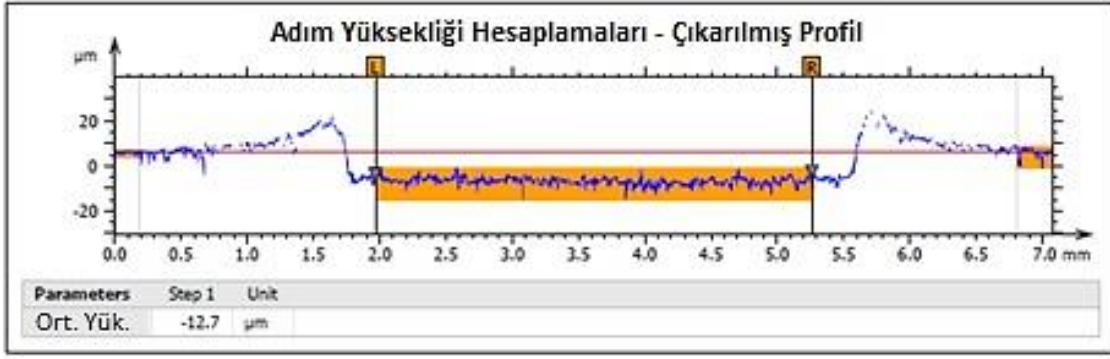
Çizelge 4.2 Tabakalardaki ortalama sertlik değerleri

	SU				YAĞ			
	FeV		NV		FeV		NV	
	Sertlik (HV)	Standart Sapma	Sertlik (HV)	Standart Sapma	Sertlik (HV)	Standart Sapma	Sertlik (HV)	Standart Sapma
WL	539	23	492	30	747	40	495	30
HAZ	421	43	583	23	423	20	511	66
B	186	12	228	10	167	6	226	11

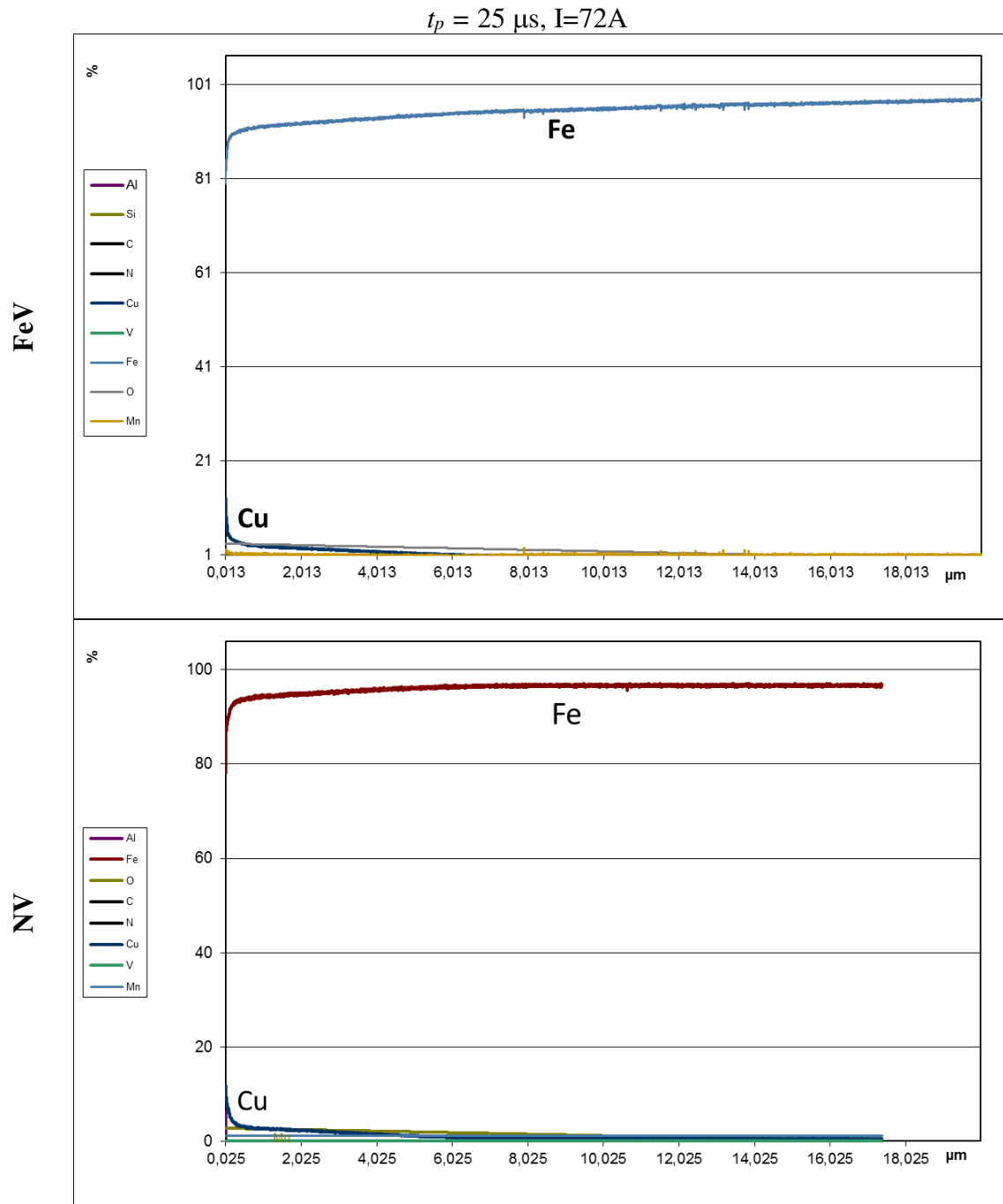
FeV numuneler yağda işlendiğinde oldukça yüksek sertlik değerleri ile karşılaşmıştır. Karbon bazlı yağın kıvılcım atlaması sırasında kırılması yüksek sıcaklıktaki eriyik metalin karbon açısından zenginleşerek soğuması ile sonuçlanır. Bu durumda yeniden katılaşan katman içeriğinde martenzitik yapılarla birlikte karmaşık FeC bileşiklerinin mikro sertliği arttırdığı sonucuna varılabilir. Ancak, NV alaşımlı çeliklerde yeniden katılaşan katman sertliği daha düşüktür ve alaşımlandırma yönteminin etkisini ortaya koyar. Isıl etkilenmiş katmanlarda ise elde edilen sonuç şaşırtıcıdır. NV alaşımlı çeliklerde daha yüksek ısıl etkilenmiş bölge sertliği ile karşılaşılır ve benzer eğilim suda işleme koşulları için de geçerlidir.

4.3.3 Glow Deşarj Optik Emisyon Spektrometre (GDOES) Analizleri

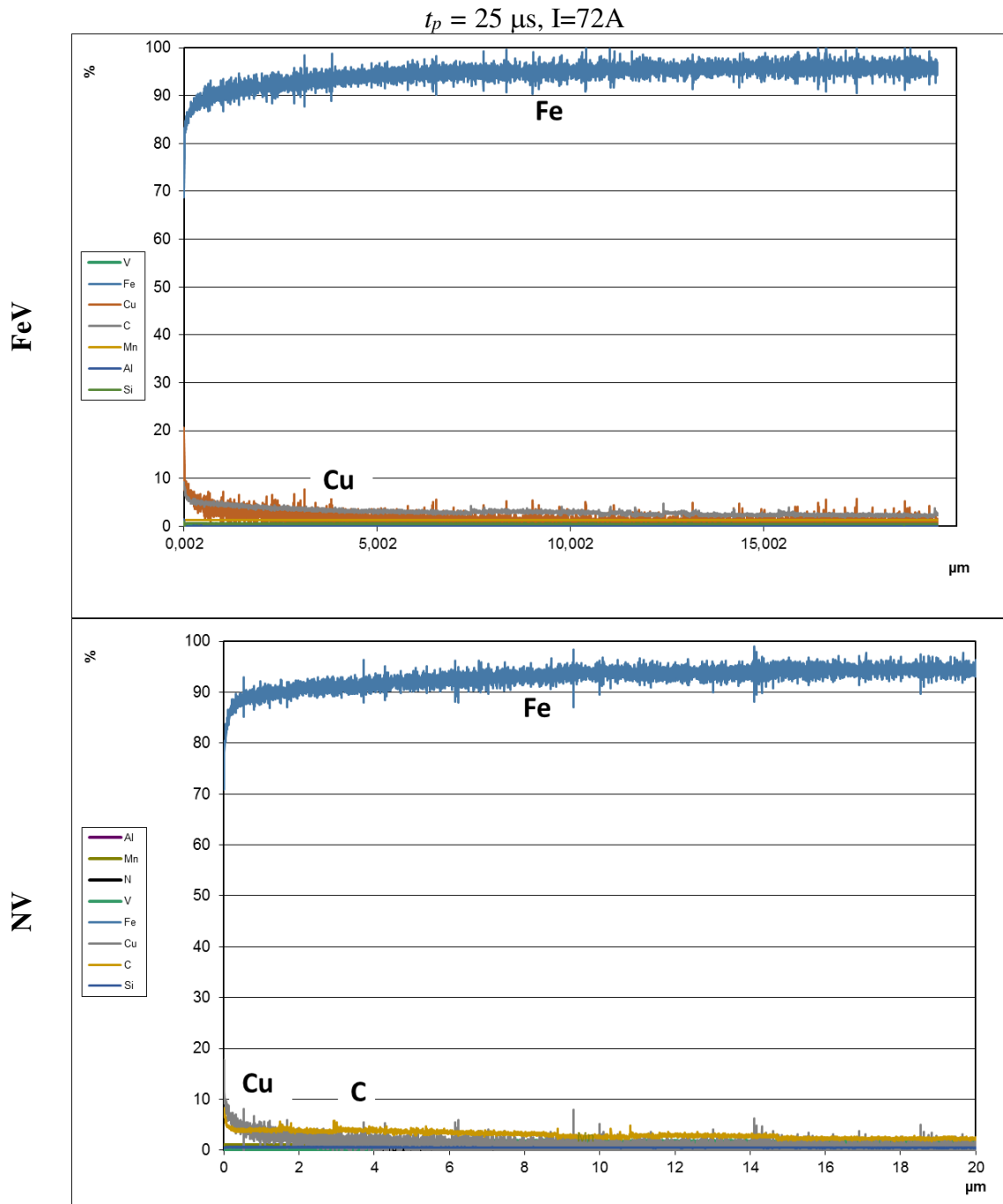
Öncelikle, işlenmemiş ve yüzeyi parlatılmış bir referans numune yüzeyine uygulanan glow deşarjının malzeme kaldırma hızı belirlenmiştir (Şekil 4.19). Ardından, 72 A darbe akımı ve 25 µs darbe süresi ile suda ve yağda işlenmiş FeV ve NV alaşımlı çeliklerin yüzeyleri Glow Deşarj Optik Emisyon Spektrometresi ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yüzeyde Cu takım elektrotundan malzeme geçişini göstermektedir.(Şekil 4.20, 4.21). Ancak yüzeyde C ve N elementleri üzerindeki değişimler yöntemle ayırt edilemeyecek derecede düşük bulunmuştur. Yüzeyde hızla Fe yükselmekte ve yaklaşık 5µm derinlikte asıl çeliğin yoğunluğuna ulaşılmaktadır.



Şekil 4.19 Referans numunenin deşarj uygulandıktan sonra yüzey topografyası ve profil ölçümü



Şekil 4.20 Suda EKİ'ye tabi numunelerin GDOES profilleri



Şekil 4.21 Gaz Yağında EKİ'ye tabi numunelerin GDOES profilleri

BÖLÜM 5

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

EKİ yüzeyler, çok kısa sürelerde ardışık biçimde etkiyen elektriksel boşalmaların ısı etkileri ile tanımlanır. Bu çalışmada su ve gazyağı dielektrik sıvıları kullanılarak farklı darbe süreleri akımları için EKİ yöntemi ile işlenen FeV ve NV çelik yüzeylerinin topolojik ve mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Bu bölümde elde edilen deneysel bulgular değerlendirilmiş ve sonuçlar özetlenmiştir.

5.1 EKİ YÜZEYLER

İşleme sırasında yüksek darbe süreleri ve akımları kullanıldığında yüzeyde daha büyük kraterlerin oluşumu beklenir. Yükselen darbe süresi kıvılcımı oluşturan plazma kanalının daha fazla genişlemesine olanak sağlayarak yüzeyde daha büyük çapta bir kraterin oluşumu ile sonlanacaktır. Darbe akımının yükseltilmesi ise plazma kanalı aracılığı ile daha fazla atomik parçacığın (elektronlar ve iyonlar) işlenen yüzeye çarpmasını sağlayacağından krater derinliğini artıracaktır. Bu açıdan gaz yağı ile işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğü artan darbe enerjisi ile üstel bir formda artmaktadır (Ekmekçi 2009). Bu çalışmada yağda işlenen bütün numuneler literatürde de sıkça belirtilen eğilimi açıkça göstermiştir. Ancak EKİ suda yapıldığında durum oldukça farklı bir görünüm almaktadır. Özellikle 7A darbe akımı ve 400 μ s gibi yüksek darbe sürelerinde işleme yapıldığında, ana boşalım kanalı farklı kollara ayrılarak ikincil kıvılcımları oluşturur. Büyük bir ana boşalım kanalı yerine daha düşük enerji seviyelerine bölünmüş ikincil kıvılcımlar ile işlenen yüzeyin pürüzlülüğü de hızla düşmekte ve literatürde tanımlanan eğilimin dışına çıkmaktadır. Ayrıca, takım elektrot malzemesinin daha yüksek oranda iş parçası yüzeyine taşındığı tespit edilmiştir. Genel olarak eğilimin bozulması kullanılan iş parçası alaşımlandırma yönteminin farklılığından kaynaklanmamaktadır.

Aynı koşullarda işlenen FeV ve NV çelikleri benzer yüzey geometrik özelliklerinin oluşturmuştur. Benzer durum mikro çatlakların oluşumu içinde söylenebilir. Genel olarak, FeV

alaşımli çelikler çok az oranda olmakla birlikte EKİ yüzey değişimlerini (Krater çapları, mikro çatlak dağılımları, küresel eklenti sayısı gibi) daha belirgin göstermektedir. XRD spektrometrik analizleri yüzeyde FeC ile birlikte FeNO bileşiğinin oluştuğunu göstermiştir.

5.2 KESİT İNCELEMELERİ

Yeniden katılaşmış katman iğnemsisi ve martensitik formda gözlemlenmiştir. Bu katmanın altında, katı fazda işlemin ısı etkilerine maruz kalmış bir tabaka bulunmaktadır ve bu katmanı ana metal malzemesi takip etmektedir. Kullanılan darbe süresi ve akımına bağlı olarak yeniden katılaşmış katman içinde görülen iğnemsisi tanelerin yoğunluğu, düşen darbe akımı ile birlikte hızla düşmektedir. Bu sonuç düşen darbe akımı ile birlikte yeniden katılaşmış katmanın oldukça ince tanelerden oluşarak uygulanan dağlama çözeltisine karşı tarafsız davrandığını göstermektedir. Ayrıca, bir darbe akımı uygulanması ile hızla eriyen metal, plazma kanalının sahip olduğu yüksek basınç ile birlikte eriyik metali krater çeperlerine doğru sürükler. Eriyik malzeme bu sürüklenme sırasında bir dalga oluşturur ve kırılan dalga altında kalan gaz hapsolür. Hapsolan bu gaz kümesi katılaşma sonucunda yeniden katılaşan katmanda gözenekler oluşturur. Benzer koşullarda işlenmiş FeV ve NV çelikleri benzer gözenekli yapıları göstermekle birlikte FeV çeliklerin yeniden katılaşmış katmanlarında sayıca fazla gözenek ile karşılaşmıştır.

Ayrıca kesit üzerinde yeniden katılaşmış katman içinde son bulan mikro çatlaklar ile karşılaşmıştır. Bu tür çatlamlar genel olarak katılaşma sırasında oluşan yüksek dönüşüm gerilmeleri neticesinde oluşmuştur (Ekmekci 2009). Mikro çatlakların yoğunluk ve kalınlık açısından FeV alaşımlı çeliklerinde daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, suda işleme yapıldığında ikincil kıvılcımların oluşumu söz konusu olduğu işleme koşullarında beyaz katman kalınlığı hızla düşerken ısı etkilenmiş katman kalınlıkları hızla artmaktadır. Bu sonuç diğer araştırmacıların bulguları ile de örtüşmektedir (Ekmekci 2016).

5.3 MİKROSERTLİK DEĞİŞİMLERİ VE GDOES

FeV ve NV alaşımlı çeliklerin yeniden katılaşan ve ısı etkilenmiş katman mikro sertliklerinde belirgin farklılaşmalar ile karşılaşmıştır. Bu farklılaşmalar iş parçası malzemesine özgü bir eğilimin oluştuğunu göstermektedir. FeV çelik numuneler yağda işlendiğinde yeniden katılaşan katman sertliği NV çeliklerinkine göre daha serttir. Isı etkilenmiş katmanlarda ise durum tam

tersine dönmüştür. FeV çeliklerinde ısı etkilenmiş katman sertliği NV çeliklerine nazaran daha düşüktür. Elde edilen bu sonuç mikro alaşımlandırma tekniğinin elektriksel kıvılcım ile işlenebilirlik açısından en keskin sonucu vermektedir. Çelik içerisinde yer alan N bir kıvılcımın etkimesi ile eriyen katmanda daha yumuşak bir fazın oluşumunu desteklerken katı fazda dönüşüme uğrayan katmanı sertleştirmektedir. Derinliğe göre Cu takım elektrotundan malzeme geçişi yüzeyde belirgindir ancak C ve N elementleri üzerindeki farklılaşmalar GDOES yöntemi ile elde edilememiştir.

5.4 SONUÇLAR

Çalışma sonunda aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

1- Aynı koşullarda işlenen FeV ve NV çelikleri benzer yüzey geometrik özelliklerini çok küçük değişimler ile oluşturmaktadır. Genel olarak, FeV alaşımlı çeliklerde krater çapları, mikro çatlak dağılımları, küresel eklenti sayısı, yeniden katılaşmış katmanda gözenek oluşumu gibi Elektriksel Kıvılcımla İşlemeye özgü değişimler daha belirgindir

2- FeV çeliklerin EKİ sonucunda oluşan yeniden katılaşmış katmanın sertliği NV çeliklerinkine göre daha yüksektir. Ancak ısı etkilenmiş katmanlarda durum tam tersinedir. Bu sonuç eriyen iş parçasında N elementinin daha yumuşak bir fazın oluşumunu desteklediği sonucunu doğurmaktadır. Isı etkilenmiş katmanlarda ise çözünmüş N iş parçasının sertleşebilme özelliğini arttırmaktadır.

3- Özellikle ikincil kıvılcımların işleme sırasında etkin olması, takım elektrotundan iş parçasına malzeme taşınımını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abbasi S M and Shokuhfar A** (2007) Improvement of Mechanical Properties of Cr-Ni-Mo-Cu-Ti Stainless Steel With Addition of Vanadium, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 14(6): 74-78.
- Çelik Dergisi** (2015) Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Sayı 48, sayfa; 30, Ocak 2015
- Çetin Z ve Yamantürk Y** (2016) Development of V-N Microalloyed High Yield Strength Steel for Automotive Applications, The 10th International Rolling Conference and the 7th European Rolling Conference, *The Austrian Society for Metallurgy and Materials*, Leoben, Austria, 282-293.
- Dastagiria M and Kumar A H** (2014) Experimental Investigation of EDM Parameters on Stainless Steel&En41b, *Procedia Engineering*, 97: 1551 – 1564.
- Dwivedi A P and Choudhury S K** (2016) Increasing the Performance of EDM Process Using Tool Rotation Methodology for Machining AISI D3 Steel, *Procedia CIRP*, 46: 131-134.
- Ekmekçi B, Elkoca O and Erden A** (2005) A Comparative Study on the Surface Integrity of Plastic Mold Steel due to Electric Discharge Machining, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 36B: 117-117.
- Ekmekci B** (2007) Residual stresses and white layer in electric discharge machining (EDM), *Applied Surface Science* 253: 9234–9240.
- Ekmekci B** (2009) White Layer Composition, Heat Treatment, and Crack Formation in Electric Discharge Machining Process, *Metallurgical And Materials Transactions B*, 40B: 70-81.
- Ekmekçi B, Yaşar H and Ekmekçi N** (2016) A Discharge Separation Model for Powder Mixed Electrical Discharge Machining, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 138(8): 081006.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ekmekci B, Tekkaya A E and Erden A** (2006) A semi-empirical approach for residual stresses in electric discharge machining (EDM), *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46: 858–868.
- Erden A** (1997) "Non-Traditional Machining Processes", Handbook of Mechanical Engineering, 2nd Edition, Vol. 2 (Design and Production), The Turkish Chamber of Mechanical Engineers, Publ. No: 170, Ankara, 53-54.
- Ersöz Y** (2009) Elektriksel Aşındırma Yöntemi ile İşlemede Di-Elektrik Sıvıda Asılı Sic Taneciklerinin If Çeliği Yüzeyindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 181s.
- Ghosh A** (2001) *Secondary Steelmaking Principles and Applications*, ISBN 0-8493-0264-1, CRC Press LLC New York, 290-307.
- Guu Y H and Ti-Kuang Hou M** (2007) Effect of machining parameters on surface textures in EDM of Fe-Mn-Al alloy, *Materials Science and Engineering A*, 466: 61–67.
- Glodowski R J** (2000) “Effect of V and N on Processing and Properties of HSLA Strip Steels Produced by Thin Slab Casting”, *42nd MWSP Conf. Proceedings*, ISS, XXXVIII:441-449.
- Glodowski R J** (2013) An empirical prediction model of incremental strengthening of steels with V & N, with emphasis on effective N level”, *International Journal of Metallurgical Engineering* 2(1): 56-61.
- Holger A, Vollmers A, Schrade C, Huellen M, Talhoff D and Zulhan Z** (2006) Secondary Steelmaking Session, *Secondary Metallurgy for BOF Steelmaking, IS'06 Conference*, 7(3): 1-9.
- Jun P, Shi-jun W, Yuan-chi D, Li-xia L, Yun Z, Er-bao C** (2008) Model of Calculating Activity of Nitrogen and Vanadium in Fe-C-V-N Molten Metal, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 15(5): 19-23.
- Lee H T and Tai T Y** (2003) Relationship between EDM parameters and surface crack formation, *Journal of Materials Processing Technology*, 142: 676–683.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Medina S F, Go´mez M and Rancel L** (2008) Grain refinement by intragranular nucleation of ferrite in a high nitrogen content vanadium microalloyed steel, *Scripta Materialia*, (58): 1110–1113.
- Ntasi A, Mueller W D, Eliades G and Zinelis S** (2010) The effect of Electro Discharge Machining (EDM) on the corrosion resistance of dental alloys, *Dental Materials* 2, (6): 237-245.
- Numata M, Higuchi Y and Fukagawa S** (1998) Reaction mechanism of change of inclusion composition during Ca treatment, *AIST Steelmaking Conference Proceedings*, 215-220.
- Oksiuta Z, Lewandowska M, Kurzydowski K J and Baluc N** (2013) Effect of vanadium addition on the microstructure and mechanical properties of the ODS ferritic steels, *Journal of Nuclear Materials*, 442:84–88.
- Ollilainen V, Kasprzak W and Holappa L** (2003) The effect of silicon, vanadium and nitrogen on the microstructure and hardness of air cooled medium carbon low alloy steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 134: 405-412.
- Riofano R M, Casteletti L C, Canale L C F and Totten G E** (2008) Improved wear resistance of P/M tool steel alloy with different vanadium contents after ion nitriding, *Wear*, 265: 57–64.
- Riofano R M, Casteletti L C, Nascente P A P** (2006) Study of the wear behavior of ion nitrided steels with different vanadium contents, *Surface and Coatings Technology* 200: 6101–6110.
- Seetharaman S., McLean A., Guthrie R., Sridhar S.** (2014), *Fundamentals of Metallurgy Volume 3: Industrial Processes*, Elsevier, 393-396.
- Siwecki T, Eliasson J, Lagneborg R and Hutchinson B** (2009) Bainitic Hot Strip Steels Microalloyed with Vanadium, *Materials Science and Technology, Steel Processing, Product and Applications Symposium*, 1543-1553.
- Soni J S and Chakraverti G** (1996) Experimental investigation on migration of material during EDM of die steel (T215 Cr12), *Journal of Materials Processing Technology* 56 439-451.
- Suwanpinij and Dickert** (2014) Application Of Vanadium Precipitation For Lower Rolling Force And Enhanced Strength Of Hot Strip Steel, *Archives Material and Science Engineering*, 70: 39-44.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Udomphol T** (2007) Rolling of Metals, Adres: http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/03_Rolling%20of%20metals.pdf. Ziyaret Tarihi: 28.6.2016
- WSO** (2015) World Steel Association. Adres: <https://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/steel-archive.html>. Ziyaret Tarihi: 28.6.2016
- Yaşar H** (2015) Toz Katkılı Elektriksel Kırılçım ile İşlenmiş Ti-6Al-4V Alaşımının Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 109 s.
- Zhang Y, Liu Y, Shen Y, Ji R, Li Z and Zheng C** (2014) Investigation on the influence of the dielectrics on the materialremoval characteristics of EDM, *Journal of Materials Processing Technology* 214: 1052–1061.

ÖZGEÇMİŞ

İsa KESKİN 1988’de KDZ. Ereğli/ZONGULDAK’ta doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Zonguldak’ta tamamladı. 2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Çelikhane Müdürlüğünde Üretim Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen Ar-Ge Direktörlüğü departmanında Proje Yönetici olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Erdemir Bağlık Lojmanları 120 Evler YBD6/3 KDZ. Ereğli/ Zonguldak

Tel: (+90) 372 3298727

E-posta: ikeskin9031@gmail.com