

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DMLS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ TİTANYUM MALZEME ÜZERİNE
GALVANİZ KAPLAMANIN TUTUNABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müge KILINÇ

HAZİRAN - 2024

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DMLS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ TİTANYUM MALZEME ÜZERİNE
GALVANİZ KAPLAMANIN TUTUNABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müge KILINÇ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Haziran – 2024

“DMLS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ TİTANYUM MALZEME ÜZERİNE GALVANİZ KAPLAMANIN TUTUNABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması adlı tez çalışması **Müge KILINÇ** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Olcay EKŞİ
Kırklareli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Aytaç MORALAR
Namık Kemal Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 04/06/2024

.....
Doç. Dr. H. Hale KARAYEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza
Müge KILINÇ
04/06/2024

ÖZET

DMLS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ TİTANYUM MALZEME ÜZERİNE GALVANİZ KAPLAMANIN TUTUNABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Müge KILINÇ

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Haziran 2024, 95sayfa

Katmanlı İmalat teknolojisi, parçaları katmanlar halinde işleyerek üretir ve tasarım özgünlüğü (3D tasarım), sıfır atık, daha az materyal-malzeme gereksinimi ile birlikte mekanik özelliklerin iyileştirilebilmesi gibi birçok alternatif sunar. Tezde kullanılan Titanyum, sert, manyetik olmayan, düşük yoğunluğa sahip, zayıf bir iletken ve korozyona karşı dayanıklıdır. Katmanlı imalat sonrası uygulanacak kaplamanın koşulları da dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konudur. Kaplama süresi ve parametrelerinin, malzemelerin mikro yapısı ve dolayısıyla ürün performansı üzerindeki etkisi çok büyüktür.

Bu tez çalışmasında, katmanlı imalat teknolojisindeki metotlardan biri olan Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) ile üretilen titanyum malzemenin farklı kaplama sürelerinde (10 dakika ve 30 dakika) ve yaklaşık 1000 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik ve korozyon özellikleri incelendi.

Anahtar Kelimeler: DMLS, Titanyum, Galvaniz Kaplama, Korozyon, Kaplama Süresi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE ADJUSTABILITY OF GAVANIZED COATING ON TITANIUM MATERIAL PRODUCED BY DMLS METHOD

Müge KILINÇ

PhD Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

June 2024, 95pages

Additive Manufacturing technology produces parts by processing them in layers and offers many alternatives such as design originality (3D design), zero waste, less material requirement and improvement of mechanical properties. Titanium is hard, non-magnetic, low density, a poor conductor and resistant to corrosion. The conditions of the coating to be applied after additive manufacturing is another important issue that should be taken into consideration. Coating time and parameters have a great impact on the microstructure of materials and therefore on product performance.

In this research, the mechanical and corrosion properties of titanium material produced by Direct Metal Laser Sintering (DMLS), one of the additive manufacturing technology methods, were examined at different coating times (10 minutes and 30 minutes) and approximately 1000 hours of aging.

Anahtar Kelimeler: DMLS, Titanium, Galvanized Coating, Corrosion, Coating Time.

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçilmesi, tezimin planlanması, yürütülmesi ve her konuda bilgi birikimini ve desteğini esirgemeyen, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar bütün süreçte yardımlarını çekinmeden aldığım kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Sencer Süreyya Karabeyoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tüm hayatım boyunca her kararında arkamda duran ve beni destekleyen aileme teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Titanyumun Kullanım Alanları	2
1.3. Çinko Tanımı	3
1.3.1. Galvaniz kaplanabilen malzemeler ve kullanım alanlar	5
2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN TANITILMASI	7
2.1. Üç Boyutlu Yazıcılar	7
2.2. CAD-CAM Sistemi	8
2.3. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Baskı Teknikleri	9
2.3.1 Direk metal lazer sinterleme (Direct metal laser sintering, DMLS).....	9
2.3.2. Dijital ışık işleme (Digital light processing, DLP)	11
2.3.3. Tarayarak ışıkla kürleme (Stereolithography, SLA)	11
2.3.4. Malzeme püskürtme tekniği (Material jetting).....	11
2.3.5. Üç boyutlu baskı (3DP).....	12
2.3.6. Seçici lazer sinterleme (Selective laser sintering, SLS).....	12
2.3.7. Seçici lazer eritme (Selective laser melting, SLM)	13
2.3.8. Eriyik biriktirme modelleme tekniği (Fused deposition modelling, FDM)	14
3. GALVANİZ KAPLAMA.....	17
3.1. Galvaniz Kaplama	17
3.1.1. Kaplama öncesi yüzey hazırlama	17
3.1.1.1. Yağ alma	18

3.1.1.2. Aside daldırma	18
3.1.1.3. Flakslama	18
3.2. Galvaniz Kaplama Süreci	19
3.3. Çinko Banyo Sıcaklığı ve Ürün Asma Yöntemi	20
4. KOROZYON OLUŞUMU	21
4.1. Korozyon Nedir?	21
4.2. Korozyon Reaksiyonları	22
4.3. Korozyon Çeşitleri	23
4.3.1. Homojen dağılımlı korozyon.....	24
4.3.2. Galvanik korozyon.....	24
4.3.3. Çatlak korozyon.....	25
4.3.4. Oyuklanma korozyonu.....	25
4.4. Korozyona Karşı Alınması Gereken Önlemler	26
4.5. Korozyon Testleri	26
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	29
5.1. Literatür Araştırması	29
6. MATERYAL VE METOD	49
6.1. EOS Ti64 Tozu	49
6.2. DLMS Tezgâhı Çalışma Prensibi	51
6.3. Korozyon Testi Cihazı Çalışma Prensibi	53
6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	55
6.4.1. EDS görüntü alma.....	59
7. ARAŞTIRMA VE BULGULARI	61
7.2 Korozyon Testi (Tuz Testi)	64
7.3. SEM Görüntüleri	66
8. SONUÇ VE TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 1.1 Titanyumun Özellikleri.....	2
Çizelge 1.2. Çinkonun özellikleri	3
Çizelge 2.1. PLA' nın özellikleri.....	15
Çizelge 2.2. ABS'nin özellikleri	15
Çizelge 6.1. EOS Ti64 tozunun teknik özellikleri.....	50
Çizelge 6.2. EOS Ti64 tozunun kimyasal bileşenleri	50
Çizelge 6.3. EOS M280 DMLS tezgâhının teknik özellikleri.....	52
Çizelge 7.1. 10 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu.....	62
Çizelge 7.2. 30 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu.....	63
Çizelge 7.3. Atomların dağılım yüzdeleri	73



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Katmanlı üretim teknolojilerinin yöntem kategorileri.....	9
Şekil 2.2. EOS M280 DMLS tezgâhı.....	10
Şekil 2.3. Seçici lazer sinterleme çalışma prensibi	12
Şekil 2.4. Eriyik biriktirme modelleme tekniği	14
Şekil 2.5. Malzemesi ABS ve PLA olan FDM baskı yöntemi ile üretilen parça	16
Şekil 3.1. Galvaniz kaplama proses adımları	19
Şekil 4.1. Metal yüzeydeki korozyon görüntüsü (Aktürk, 2021)	21
Şekil 4.2. Homojen dağılımlı korozyon	24
Şekil 4.3. Galvanik korozyon	25
Şekil 4.4. Çatlak korozyonu	25
Şekil 4.5. Oyuklanma korozyonu	25
Şekil 4.6. Tuz sisi test cihazı (Doğuş Üniversitesi)	27
Şekil 6.1. EOS firması tarafından üretilmiş olan Ti64 tozunun paketli ve açık görünümü	50
Şekil 6.2. İmalat için hazırlanan makine içerisinde imalat odasında ilk katman (30 µm) ve DLMS ile imal edilen numunelerin bitmiş görünümü	51
Şekil 6.3. İmalatı yapılan numunenin tezgâhtan çıktıktan sonraki görüntüsü.....	53
Şekil 6.4. İmal edilen numunenin görseli.....	53
Şekil 6.5. Korozyon test makinası (Uzman kataforez kaplama)	54
Şekil 6.6. SEM mikroskobunun şematik gösterimi (Açıkgöz, 2018)	57
Şekil 6.7. SEM mikroskobu	58
Şekil 6.8. Bir malzeme üzerinden alınmış bir EDS görüntüsü.....	59
Şekil 7.1. DLMS yöntemi ile üretilmiş freze çakısı	61
Şekil 7.2. 10 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu.....	62
Şekil 7.2. 30 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu.....	63
Şekil 7.3. Tuz testi makinasının parametre kontrolü	64
Şekil 7.4. 144. saatte kontrolleri yapılan parçalar (Soldaki görseli 10 dk kaplama, sağdaki görsel 30 dk kaplanan parçalara aittir.)	65
Şekil 7.5. 1000. saat sonunda parçada oluşan korozyon (Soldaki görsel 30 dk kaplama, sağdaki görsel 10 dk kaplanan parçalara aittir.)	66
Şekil 7.6. 10 dk kaplanan parçaya ait mikroskop görüntüsü.....	67

Şekil 7.7. 30 dk kaplanan parçaya ait mikroskop görüntüsü.....	67
Şekil 7.8. 10 dk kaplanan parçanın kenar yüzeyinde oluşan noktasal oluşum.....	68
Şekil 7.9. 30 dk. kaplanan parçaya ait SEM görüntüsü	68
Şekil 7.10. 10 dk. kaplanan parçaya ait SEM görüntüsü	69
Şekil 7.11. 30 dk. kaplanmış malzemeye ait EDS görüntüleri.....	70
Şekil 7.12. 10 dk. kaplanmış malzemeye ait EDS görüntüleri.....	72
Şekil 7.13. Atom konsantrasyonu (%)	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

Ø	Çap
°	Derece
Dk.	Dakika
Max	Maksimum
µm	Mikrometre
Min	Minimum
Mm	Milimetre
Sn	Saniye
®	Tescilli Marka
Lt	Litre
Kg	Kilogram
ml	Mililitre
Rev	Devir
≈	Yaklaşık Eşittir
µs	Mikron Saniye
±	Artı Eksi Değer

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABS	Akrilonitril Butadiyen Stiren
AL	Alüminyum
AM	İlave Üretim veya Katmanlı Üretim
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
DLP	Dijital Işık İşleme
DMLS	Direk Metal Lazer Sinterleme
FDM	Eriyik Biriktirme Modelleme
LOM	Levhalı Parça Üretimi
PLA	Polilaktik Asit
POM	Polioksümetilen
RP	Hızlı Prototip

SLA
SLM
SLS
Ti

Tarayarak Işıkla K rleme
Seçici Lazer Eritme
Seçici Lazer Sinterleme
Titanyum



1. GİRİŞ

1.1.Genel Bilgiler

Teknolojinin gelişmesi ile son yıllara bakıldığında, üretimin hemen hemen her prosesinde yer edinmeye başlayan üç boyutlu (3B) üretim bir diğer adı ile ilave üretim teknolojisi (AM) ya da katmanlı imalat teknolojisi fazlasıyla popülerite kazanmıştır. Firmaların hafif, düşük maliyetli ve daha hızlı ürünler elde etme çabası üç boyutlu üretimi oldukça ön planda tutmaktadır. Ülkemizde de kullanım alanı fazla olan üç boyutlu üretim teknolojisi, üretmek istenen parçaları katman katman tek çevirimde ve üretim süresi geleneksel yöntemlere göre kısa üretim kapasitesine sahiptir. Yaygın üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında 3B üretim üretimiye parça üretimi esnasında oldukça fazla avantajlar sunmaktadır. Avantajlara örnek olarak; tasarım özgünlüğü, malzeme verimliliği, üretim esnekliği gibi daha birçok örnek verilebilir. Bu avantajların yanında üç boyutlu üretim teknolojisinin dezavantajları da yadsınamaz. Dezavantajlara örnek olarak; malzemenin boyutlarındaki üretim zorluğu ve dayanıklılığı nedeni ile sınırlı uygulamaları, üretilen parçaların genellikle pürüzlü yüzeye ve sabit geometrilili bir yüzeye sahip olmasını verebiliriz.

Üç boyutlu üretimde yaygın olarak kullanılan birçok malzeme vardır. Bu malzemelerden biri Titanyum (element sembolü “Ti”)’dur. Titanyum, atom ağırlığı 47.87 atom numarası 22, olan periyodik cetvelde 4B grubuna ait bir geçiş metalidir. Titanyum içerisinde mineraller bulundurulur. Bu minerallerden önemli olan 2 tanesi rutil ve ilmenttir.

Rutil, sembolü TiO_2 ’ tir. Yüksek basınç ve ısı sağlayan çoklu bir yapıdadır.

İlment, sembolü $FeTiO_3$ ’ tir. Manyetik duyarlılığı yüksek, siyah renkli bir mineraldir.

Titanyum, manyetik olmayan, sert ve zayıf bir iletkenidir. Kristal yapısı $882^{\circ}C$ ’ de şekil 1.1’de gösterildiği üzere cisim merkezli kübik beta formundan hekzagonal alfa forma değişken bir yapıya sahiptir.

Alfa formundaki yapısının özgül ısısı Titanyum geçiş sıcaklığına gelinceye kadar etkin bir şekilde yükselir sonrasında tekrar düşerek sabit kalır (Dutta ve Froes, 2017).

Titanyum 'un yaygın olarak kullanılmasının nedenlerinden en önemlisi düşük yoğunluğa sahip olmasına karşın çekme dayanımı ve akma dayanımı çok yüksektir.

Korozyon oluşumuna karşı dayanıklı olmasından dolayı da tıbbi araç gereç ve cihazlarda yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu yüzden neredeyse her alanda kullanıma yatkın ve uygun bir elementtir (Ensarioğlu ve Çakır, 2019).

Çizelge 1.1 Titanyumun Özellikleri

Titanyum elementinin fiziksel ve mekanik özellikleri	
Erime noktası	1668 °C
Kaynama noktası	3287 °C
Çekme dayanımı	434 MPa (63.000 Psi)
Atom numarası	22
Atom ağırlığı	47,867
Yoğunluğu (25 °C)	4,506 gr/cm ³

Titanyum ve titanyum bileşenleri kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olan pahalı, işlenmesi zor ve bunların yanında oldukça hafif bir metaldir. Hafif olmalarından kaynaklı kullanım alanları bir hayli geniştir.

1.2. Titanyumun Kullanım Alanları

Yüksek titreşim, hız ve yüksek ısının kullanıldığı araç parçalarında, motorlarda, türbin kanatlarında kullanım alanı genişler (Buchinger ve diğerleri).

Tuz, asit gibi kimyasal maddelere karşı çok dayanıklı olduğundan veya korozyon direnci yüksek olduğundan denizaltı gövdelerinin yapımında kullanılır.

İnsan vücudu ile tepkimeye girmediğinden ve insan sağlığına zarar vermediğinden tıp alanında kullanımı vardır.

Titanyum nikel ile yaptığı nitinol adlı alaşımın bellek yeteneği vardır. Bu alaşımdan yapılan parçaların şekli bozulup ısıtıldığında tekrar eski halini alabilmektedir. Nitinol tıp ve uzay sanayisinde kullanılmaktadır.

Titanyum ana kullanım alanlarından biride kaynak elektrotların yapımıdır. Rutil ve ilment elektrik ark kaynaklarında kullanılan elektrotlardan örtü malzemesi olarak kullanılmaktadır (İçdem, 2007).

1.3. Çinko Tanımı

Çinko yapısı gereği parlak ve beyaz bir metaldir. Normal sıcaklık değerlerinde ise kristal ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Sıcaklık değeri 110 °C-150°C getirildiğinde sünek ve yumuşak bir hal alır. Çinko elementin sembolü "Zn"dir. Periyodik cetvelde 4'üncü periyot 2B grubu geçiş metali olarak tanımlanır. Atom numarası 30, atom ağırlığı 65.38'dir. Kaynama noktası 1180K (907°C veya 1665°F), erime noktası ise 692.68K (419,53°C veya 787,15°F). Yoğunluğu 7.134 gram/cm³tür. Normal şartlarda oda koşullarında ise katı fazda bulunan bir metaldir.

Çizelge 1.2. Çinkonun özellikleri

Adı	Çinko
Sembolü	≈ Zn
Atom numarası	≈ 30
Atom ağırlığı	≈ 65.37
Kristal yapısı	≈ Hegzagonal
Yoğunluğu	≈ 7,14g/ml
Erime Noktası	≈ 419,5°C
Kaynama Noktası	≈ 906°C
Elektron Yapısı	≈ [Ar]3d ¹⁰ 4s ²
Elektronegatifliği	≈ 1,6 Pauling's
Buharlaştırma Isısı	≈ 27.4 kcal/g-atom

Ergime Isısı	$\approx 1,76 \text{ kcal/g-atom}$
Elektrik İletkenliği	$\approx 0,167 \text{ (microhms)}^{-1}$
Isı İletkenliği	$\approx 0,27 \text{ cal.cm/cm}^2.\text{sec.}^\circ\text{C}$
Özgül Isı	$\approx 0,0915 \text{ cal/g-mole}$
İlk İyonlaşma Enerjisi	$\approx 216 \text{ kcal/g-mole}$
Atomik Hacim (W/D)	$\approx 9,2$
İyonik Yarıçap <u>/Zn++</u>	$\approx 0,74^\circ\text{A}$
Atomik Yarıçap	$\approx 1,38^\circ\text{A}$
Kovalent Yarıçap	$\approx 1,25^\circ\text{A}$
Isı Genleşme Katsayısı	$\approx 39,7 \text{ (cm/cm.}^\circ\text{C)}*10\text{exp}6$
Young's Modülü	$\approx 1,34*10 \text{ exp } 6 \text{ psi}$

Malzemenin ömrünü uzatmak ve kullanımını arttırmak için korozyon direnci önemli konulardan bir tanesidir. Korozyon direncini arttırmada ilk akla gelen ve etkili yöntemlerin başında malzemeyi çinko ile kaplamak gelmektedir. Korozyon direncini arttırmak için malzeme yüzeyleri üzerinde koruyucu bir kaplama tabakası elde edilmesi önerilmektedir.

Çinko kaplama ile malzemenin sudan kaynaklanan korozyona karşı oluşturduğu bir bariyer koruması ve galvaniz koruma olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Bariyer korumada, korozi ortamın malzemeye ulaşmadan en önce korozyon ortamından malzemeyi ayıran çinko kaplama aşınmaya uğrar. Galvanizle korumada ise nemli ortamda çinko çoğu malzemenin yapısından daha aktiftir bu yüzden çinko alt tabakadaki malzemeyi korumak için kendini feda eder.

Bir malzemenin çinko kaplama yapılmasındaki amaç;

1. Korozyona karşı direncinin artırılması,
2. Yüzey görünümü (dekoratif amaçlı),
3. Malzemenin darbelere karşı dayanıklılığının artırılması,

1.3.1. Galvaniz kaplanabilen malzemeler ve kullanım alanlar

Bilindiği üzere, galvanizli malzemeler inşaat, otomotiv, konstrüksiyon ve beyaz eşya sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlara birkaç örnek aşağıda belirtilmiştir;

- Galvanizlemeye uygun bütün elik ve elik alaşımları,
- Civata, pul, somun, vida vb. bağlantı elemanları,
- Otomotiv sektöşi,
- Trafik sistemleri,
- Karayolu yol bariyerleri,
- Kazan, tank,
- evre koruma sistemleri.

2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN TANITILMASI

2.1. Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu (3B) yazıcılar, tasarlanan parçayı zeminden başlayarak toz, metal, plastik ve seramik gibi malzemeleri katman katman işleyerek nihai yapıyı oluşturur. 3B yazıcılarda kullanılan teknolojiye benzer daha birçok üretim teknolojisi mevcuttur. 2006 yılında başlayan REPRAP (kendin yap, kendin geliştir) projesi ile insanların dikkatini daha çok çekmiş ve günümüzde bir sektör haline gelmeyi başarmıştır.

Kullanılan imalat teknolojileri arasında en düşük maliyetli, en az malzeme israfı ve istenilen şekli en kısa sürede imal edebilen teknoloji 3B yazıcı teknolojisidir. Geleneksel parça üretiminde parçanın geometrisi ne kadar karmaşık ise maliyette bir o kadar artarken, 3B yazıcılarda parçanın geometrisine göre fiyat belirlenmesi yapılmamaktadır. İhtiyaç duyulan bir parçayı o anda 3B yazıcıda yazdırmak mümkündür bu duruma şirketler bazında bakılırsa parça stoklama ihtiyacını ortadan kaldırır.

3B yazıcı teknolojisini bilimsel olarak basit anlatımı ise, viskozitesi yüksek çeşitli malzemelerin belirli ve uygun bir nozuldan ekstrüzyonu şeklinde ifade etmemiz mümkün olur. Bu teknolojiye kullanılan malzemeler ise genellikle amorf yapıdaki termoplastik polimerlerdir. Bu malzemeler istenilen basınç altında ekstrüde edilebildikleri sıcaklık değerlerinde viskoziteleri yüksektir. Ekstrüde olduktan sonra özelliklerinden bir şey kaybetmeden kolayca katılaşır. Bu özellikleri nedeniyle de elde edilmek istenen parçanın üretim sırasında birbirine yapışmayan daha kaliteli parçalar üretmeyi mümkün kılar. Ham maddesi metal olan yazıcılarda kullanılmaktadır. Fakat metal baskı yapan yazıcılar ve metal tozları maliyet açısından daha yüksek olduğu için kullanımı biraz daha kısıtlı kalmıştır. Metal baskının da yaygın olarak kullanılabilmesi için çeşitli çalışmalar sürmektedir.

Günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan 3B yazıcı teknolojisinde malzeme çeşitliliği de bir o kadar artmaya başlamıştır.

2.2. CAD-CAM Sistemi

Günümüz koşullarını göz önünde bulundurarak, artan rekabet koşulları ve hızla değişen pazar alanında başarılı olabilmek için kaliteli bir imalat ve müşteri isteğine olabildiğince kısa sürede cevap verilmesi gerekmektedir. Taleplerin kısa sürede değerlendirilip üretime geçilmesi bir hayli zaman almaktadır. Bilgisayarların üretimlere entegre edilmeye başlanması ile gelişen Bilgisayar Destekli Sistemler büyük ölçüde önem kazanmıştır bunula birlikte üretime birçok avantaj sağlamıştır. Tasarım çeşitliliği ve özgünlüğü, istenilen veya hayal edilen katı modelin kolay yöntemler ile bilgisayar destekli programlarla çizilmesi ve böylelikle ilk ürüne dönüştürülmesi önemli avantajlar arasında sayılmaktadır.

CAD sistemi; donanım, yazılım ve grafik üniteleri, CAD'ın verdiği komutları veri tabanı biçimine dönüştürme ve bu komutları çıktı cihazının ekranında modelin görsel yorumu olarak çevirme sürecine aracılık yapan cihazlar büyük önem taşımaktadır. CAD CAM sisteminin kullanımı ise aşağıda özetlenen basamaklarda sırası ile belirtilmiştir;

- Üretilmek istenen Ürüne karar verilir ve ürünün boyutlarına göre çizimine başlanır.
- Ürün belirlenen çeşitli CAD programlarından bir tanesi ile çizim yapılır.
- Ardında CAM yazılım dilleri aracılığı ile üretime hazır hale getirilip üretime başlanır.

Bilgisayar destekli sistemler genel olarak Bilgisayar Destekli Endüstriyel Tasarım (Computer Aided Industrial Designing-CAID), Bilgisayar Destekli tasarım (Computer Aided Designing-CAD), Bilgisayar Destekli İmalat (Computer Aided Manufacturing-CAM), başlıkları adı altında ele alınmaktadır.

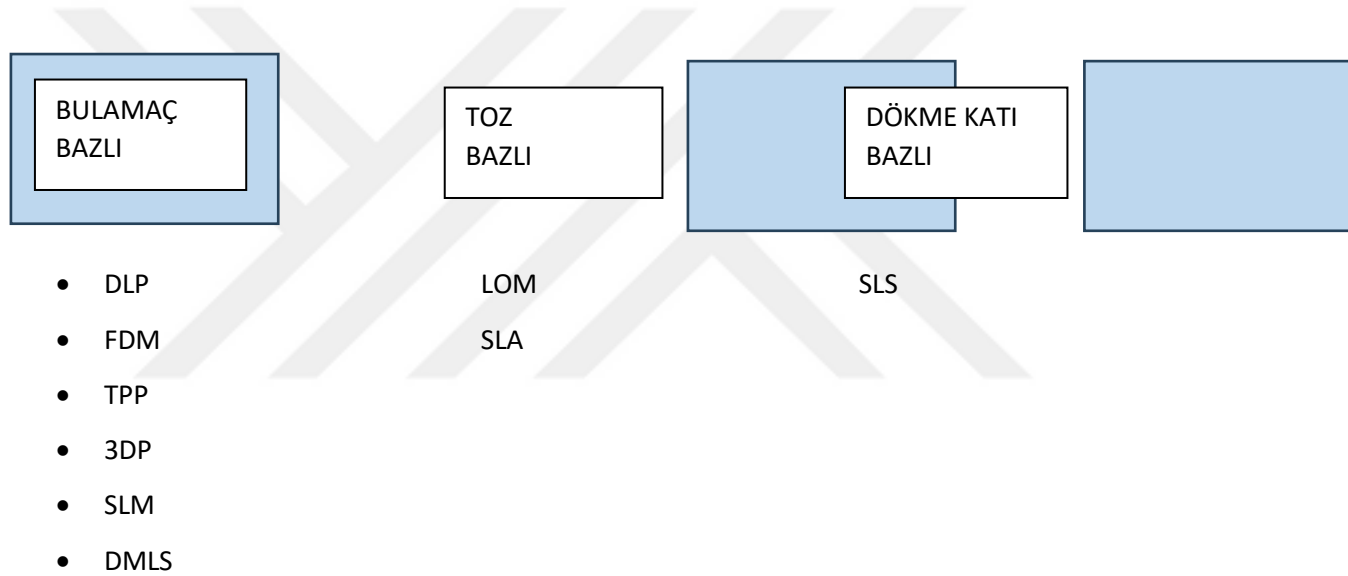
CAD/CAM sistemleri, tasarım, üretim, mühendislik gibi birçok dalı birleştirerek verimlilik ve kaliteyi artmasına katkı sağlamaktadır. CAD/CAM sistemleri ile karmaşık şekilli parçaların zor detaylarını üretmek ve/veya imalatı hassas, çok daha kısa sürede üretebilme avantajı sağlamaktadır. Tasarım sürecinde ürünün son şeklini, tasarım ve/veya üretim sürecinde yapılan hataları görebilmek için ve ürüne seri aşamada müdahale etmek yerine ilk ürün üretimi ile sorunlara çözüm bulmak kolaylaşmıştır. Son

zamanlarda gelişen Üç Boyutlu (3B) yazıcı ve kullanılan CAD programı ile hızlı prototipleme (RP) de üretim aşmalarımıza dâhil olmuştur.

2.3. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Baskı Teknikleri

Üç boyutlu (3B) yazıcılarda üretilmek istenen parça için kullanılan malzeme sıvı, toz veya tabaka şeklindedir. Bu malzeme şekilleri çeşitli teknikler kullanılarak birleştirilir. Bu teknikler üç kategori altında incelenmiştir (Chen ve diğerleri, 2018). 3B baskı teknikleri arasında en yaygını toz bazlı SLM ve SLS kabul edilmektedir. SLM ve SLS arasındaki en büyük fark kullanılan lazer gücüne bağlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi üç kategori gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Katmanlı üretim teknolojilerinin yöntem kategorileri

2.3.1 Direk metal lazer sinterleme (Direct metal laser sintering, DMLS)

Bu çalışmada kullanılan malzeme DMLS yöntemi ile üretilmiştir. Kullanılan tezgâhın teknik ve mekanik özellikleri bu bölümde açıklanacaktır.

Şekil 2.2’de EOS M280 DMLS Tezgâhını görseli yer almaktadır.



Şekil 2.2. EOS M280 DMLS tezgâhı

DMLS baskı yöntemi, SLS baskı yöntemi ile oldukça benzerlik göstermektedir. Bu yöntemde başlangıçta, makine içerisindeki tablaya çelik bir levha yerleştirilmektedir, ikinci olarak metal toz taneleri bu levha üzerine rastgele dağıtılmaktadır. Lazerin levhaya verdiği enerji ile bu toz taneleri birleştirilir ve bu işlem istenilen parçanın karakteristikleri elde edilinceye kadar sürekli olarak birbiri üzerine işlenerek devam etmektedir. Genel yapısı ile üretilen parçanın sinterlenmesinden sonra mekanik işlem de uygulanmaktadır. Bu işlemin uygulanmasındaki neden ise yoğunluk ve mekanik özellikler açısından güçlendirilmiş bir yapı inşa edilmek istenmesinden kaynaklanmaktadır.

DMLS yöntemi ile üretilen alaşımın sertlik parametreleri geleneksel üretim yöntemleri ile üretimi gerçekleştirilmiş olan alaşımların parametrik değerlerine göre daha yüksek olduğu incelenmiştir (Barucca ve diğerleri, 2016).

Kullanım alanları;

- Tıp,
- Havacılık ve uzay sanayi,
- Otomotiv sanayide oldukça yaygındır.

2.3.2. Dijital ışık işleme (Digital light processing, DLP)

DLP baskı yönteminde, geleneksel ışık kaynağı ile sıvı kristal ekran panelinin kullanıldığı baskı tekniğidir. Stereolitografi (SL) yöntemi ile benzerlik gösterir. Fakat DLP yöntemi çok daha hızlıdır. Bu proseste üretilecek olan parça modeli sıvı halde yer alan fotopolimer malzemenin yüzeyine ışık bir projektör yardımı ile yansıtılarak parçanın CAD modelinin katılaşması sağlanır.

DLP baskı yönteminde, yüksek çözünürlük ve yüksek hassasiyete sahip parçalar elde edilir.

Bu baskı tekniğinin genel kullanım alanları, enjeksiyon kalıplama ve metal döküm için prototip elde etmede yaygındır.

2.3.3. Tarayarak ışıkla kütleme (Stereolithography, SLA)

Bu baskı tekniğinde, sıvı halde bulunan fotopolimer reçinenin, tasarlanan CAD modeline bağlı olarak belirlenen yerlerin lazer kullanılarak sertleştirilme işlemidir. Işığı aktive olan polimerizasyon işlemi genellikle sıvı yüzeydeki ışık taramaları ile birlikte noktadan çizgiye, çizgiden tabakaya dönüştür ve daha sonraları tabakalar halinde ilerlemektedir. Fotopolimer malzeme bulunan bir kabın içerisine hareketli bir düzenek yerleştirilir. Katmanların lazer ile sertleştirme işlemi yapıldıktan sonra düzenek aşağı doğru hareket ettirilerek yeni bir katmana yayılır ve oluşturulan CAD modeline bağlı bir diğer katmanın tarama işlemi gerçekleştirilir.

SLA tekniği kullanılarak üretilmek istenen malzemeler genellikle esnek, darbelere karşı dayanıklıdır. Bu baskı tekniği kullanılarak daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve detaylı geometriye sahip parçalar elde edilmek mümkündür.

Mimarlar maket yapımında, anatomi model oluşturmada, hassas döküm istenen yerlerde ve pürüzsüz yüzeyler elde edildiği için kalıp yapımında sıklıkla kullanılan baskı tekniğidir.

2.3.4. Malzeme püskürtme tekniği (Material jetting)

Bu baskı tekniğinin adında anlaşılacağı üzere püskürtme tekniği ile parça üretimi sağlanıyor. Mürekkep püskürtme kafası kullanılarak sıvı hale getirilmiş mum veya

polimer malzeme tane şeklinde püskürtülür ve katılaşması beklenir. İstenilen parça oluşuncaya kadar bu işlem devam eder.

2.3.5. Üç boyutlu baskı (3DP)

3DP baskı tekniğinde, damlacıklar halindeki organik bağlayıcı çözelti baskı kafaları yardımı ile toz yatak yüzeyinin seçilen bölgelerine püskürtülür. Katı katmanlar tozu tutan bağlayıcılar tarafından oluşturulur. Daha sonra tekrar bir toz tabaka verilir bu işlem istenilen parça elde edilinceye kadar tekrarlanır. 3DP işlemi diğer baskı yöntemlerine nazaran destek ekipmanı kullanmadan yüksek geometrili tasarımlar elde edilir. Bunların yanında üretim hızı diğer baskı tekniklerine göre daha yavaştır.

2.3.6. Seçici lazer sinterleme (Selective laser sintering, SLS)



Şekil 2.3. Seçici lazer sinterleme çalışma prensibi

Toz tabanlı hızlı prototipleme baskı tekniği olan SLS, Şekil 2.3.6.1’de gösterildiği gibi, temel olarak sisteme ince katmanlar halinde toz sağlayan merdane, sisteme sürekli toz sağlayan aşağı yukarı hareket eden platform, lazer ve tarama sistemi gibi ekipmanlardan meydana gelmektedir.

Genel olarak bütün 3B yazıcıların mantında ilk olarak işe bir CAD katı modelinin oluşturulması ile başlanmaktadır. CAD ortamında çizimi yapılan parça Stl formatına dönüştürülür daha sonra bu dosya kullanılacak 3B yazıcıya aktarılır ve parçanın üretilmesine başlanmış olmaktadır.

İlk olarak belirlenen sıcaklıkta eriyen toz halindeki malzeme, parçanın üretileceği tablaya yerleştirilmektedir. Lazer ışını ile ince katmanlar halinde serilen tozlar ısıtılarak birleştirilmesi sağlanır böylelikle katı bir parça elde edilmektedir.

SLM tekniğinde, kaliteli bir parça elde edilmek isteniyorsa toz malzemenin tane boyutu, boşluk miktarları, toz malzemenin erime sıcaklığı parçanın kalitesi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu baskı tekniği ile üretimden sonra kütleme ve sertleştirme işlemlerine ihtiyaç duyulmaz çünkü elde edilen parçalar sağlam ve dayanıklıdır. Malzeme kullanımı oldukça geniştir.

Kullanılan malzemeler;

- Metal,
- Naylon,
- Poliamid,
- Cam,
- Plastik olarak sınıflandırılmaktadır.

2.3.7. Seçici lazer eritme (Selective laser melting, SLM)

SLM baskı tekniğinde, ince katmanlar halinde tablaya yerleştirilen metal tozların katmanlar halinde lazer kullanılarak metal tozlarının eritilmesi işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Her katmana bu işlem uygulandıktan sonra hareketli ekipman aşağı yönde ilerleyerek diğer katmanları da metal tozları ile örtmektedir. Bu baskı tekniğinde toz parçacıkları bütünüyle lazer kullanılarak eritilmektedir, bu işlem parçaya yoğunluk kazandırmaktadır. SLM baskı tekniğini diğer baskı tekniklerinden ayıran en önemli fark toz parçacıklarının tamamen lazer kullanılarak eritilmesidir. Yüksek verimlilik, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci ve hafif olma özelliğine sahiptir.

Kullanılan malzemeler;

- Çinko,
- Bronz,
- Paslanmaz çelik,
- Titanyum,
- Alüminyum oksit tozlarıdır.

Kullanım alanları;

- Otomotiv sektörü,
- Uzay ve havacılık,
- Dental uygulamalarda kullanılmaktadır.

SLM ve SLS arasındaki fark; SLM tekniğinin diğer 3B baskı yöntemlerinden ayıran özellik belirli bir noktayı ısıtıp toz tanelerini birleştirmek yerine tozu tamamen eritmesidir. Böylelikle toz tanelerini yeterli miktarda sıvı hale getirerek parçanın her tarafa eşit dağılımı sağlamış olmaktadır. SLM tekniği ile daha mukavemetli parçalar elde edilmiş olmaktadır.

2.3.8. Eriyik biriktirme modelleme tekniği (Fused deposition modelling, FDM)



Şekil 2.4. Eriyik biriktirme modelleme tekniği

Bu baskı tekniğinde, polimer malzemenin nozzle adı verilen uçtan belirli bir sıcaklıkta ısıtılarak ince katmanlar halinde işlenmesi ile parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Bir arayüz kullanımı vasıtası ile çizilen CAD model bu arayüze aktarılır ve burada ekstrüder sıcaklığı, tabla sıcaklığı, parçanın katman sayısı ve parçanın doluluk oranı belirlenerek üç boyutlu yazıcıya aktarılmaktadır. Bu verilere dayanarak parça katman katman işlenerek oluşturulmaktadır. Bu yöntemde avantaj arayüz ile istenilen katmanda filament sıcaklıkları değiştirilebilir başka bir deyişle her katmana farklı sıcaklıklar verilebilmektedir. Fakat genel olarak ilk katman düşük sıcaklıklardan başlar ve katman sayısına göre yükseltilmesi gerekir bunun nedeni ise malzemenin diğer katmanlara yapışması daha kolay sağlanmaktadır. Malzeme skalası geniş olmasına rağmen bu proseste genellikle PLA ve ABS polimerleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

PLA, mısır nişastası, şeker kamışı ve buğday gibi organik besin kaynaklarından üretilen termoplastik bir polimerdir. PLA, doğal kaynaklardan üretildiğinden doğada kolaylıkla emilmektedir.

Çizelge 2.1. PLA' nın özellikleri

-
- Düşük sıcaklıklarda şekillenebilmesi kolaydır
 - Mukavemetli ve darbelere karşı dayanıklıdır.
 - Baskı işlemi için 190 °C-210 °C arasında nozul sıcaklığı önerilir.
 - 50 °C-70 °C tabla sıcaklığı yeterlidir.
 - Yavaş sertleşmesi nedeniyle basım hızı arttırılması önerilmez.
 - Isı altındaki dayanıklılığı düşüktür.
 - Kokusuzdur.
 - Baskı hızı 30-50 mm/sn.
-

ABS, petrol bazlı bir termoplastiktir. Filament olarak PLA dan sonra en çok kullanılan filamentlerden bir tanesidir. Daha mukavim bir yapıya sahip olması nedeniyle sağlam parça tasarımı istenen yerlerde özellikle tercih edilmektedir.

Çizelge 2.2. ABS'nin özellikleri

-
- Yüksek sertliğe sahiptir.
 - Sağlık alanında ve gıda sektöründe kullanılması önerilmez.
 - Fazla esnek bir yapıya sahip değildir.
 - Nozul sıcaklığı genellikle 230 °C-250 °C arasında kullanılması önerilir.
 - Tabla sıcaklığı 80 °C-120 °C arındadır.
 - Aseton kullanılarak çözülmesi mümkündür.
-



Şekil 2.5. Malzemesi ABS ve PLA olan FDM baskı yöntemi ile üretilen parça



3. GALVANİZ KAPLAMA

3.1. Galvaniz Kaplama

Çoğu zaman malzemelerin yüzeyleri istenen özellikleri sağlamakta yetersiz kalabiliyor ve daha güçlü yüzeylere sahip başka malzemeye ihtiyaç duyulabiliyor. Bu durumlarda sadece malzeme yüzeyini değiştirmek hem malzeme çeşitliliğinde tasarrufu hem de işçilik de tasarruf elde etmemizi sağlamaktadır.

Malzeme yüzeyinde oluşan metal korozyonunun oluşmamasını sağlamak için kullanılan diğer yöntemlerden biri yüzey galvaniz kaplamadır. Metalik kaplama yöntemi içerisinde yer alan galvaniz kaplama genellikle, elektroliz, sıcak daldırma veya metal püskürtme yöntemleri ile yapılmaktadır.

Galvaniz kaplama, üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar kaplama öncesi yüzey hazırlama, galvanizleme ve kontrol aşamalarıdır.

3.1.1. Kaplama öncesi yüzey hazırlama

Bütün kaplama çeşitlerinde en önemli aşama yüzey hazırlama aşamasıdır. Beklenen yüzey kalitesi verilmediği malzemelerde genellikle rastlanan durum yanlış ve yetersiz yüzey hazırlama işleminden kaynaklanmaktadır. Uygun ve yüzey kalitesi yüksek ürünler elde etmek istiyorsak yüzeyin uygun şartlarda temizlenmiş olmasından emin olmalıyız. Kaplanacak malzemenin yüzeyinde hata olmaması yüksek kalitede kaplama ve kaplama görünümü için çok önemlidir.

Temizleme üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Yağ alma
- Aside daldırma
- Flakslama işlemleridir.

3.1.1.1. Yağ alma

Yüzeyi boya izlerinden, kirli yağlardan veya organik yağlardan temizlemek için sıcak alkali çözeltisine başvurulur. Kaynak cürufu, taş kalıntıları kaplama öncesinde kumlama prosesinde temizlenmiş olmalıdır.

3.1.1.2. Aside daldırma

Uygun oranlardaki asit çözeltileri içine daldırılarak metal yüzeyinde oluşmuş olan pas ve istenmeyen yabancı maddelerin kimyasal olarak temizlenmesi işlemidir. Çelik ve alaşımlarının temizlenmesinde sıkça kullanılan sülfürik asit banyolarıdır. Bu işlemlerde %5 veya %10'luk H_2SO_4 kullanılmaktadır. Kirlilik oranına bağlı olarak parçalar 5-15 dakika arası aside daldırılıp beklenir (Can, 2019).

Çelik ve çelik alaşımlarından yapılmış parçaların temizlenmesinde sulandırılmış nitrik asit banyolarının da kullanımı yaygındır. Nitrik asit içerisinde temizlenmiş çelik ve çelik alaşımları daha parlak görünümlü olduğu rahatlıkla söylenebilir.

3.1.1.3. Flakslama

Yüzeyde kalan oksit tabakalarını kaldırmak amacıyla ve de çinko banyosuna daldırılmadan önce malzeme üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturmak, temel olarak da çinko-demir reaksiyonun daha iyi gerçekleşmesini sağlamak için yapılmakta olan bir işlemdir.

Flakslama işlemi galvaniz kaplamacılar tarafından yağ ya da kuru galvaniz metoduna göre seçilir. Kuru galvanizleme işleminde; çelik ürünler önce çinko amonyum klorid içeren flaks banyosunun içerisine daldırılır ve ardından kurutularak çinko banyosuna gönderilirken, yağ galvanizleme yönteminde; çinko banyosu üzerinde çinko amonyum klorid içeren bir örtü tabaka oluşturulur ve galvaniz kaplama yapılacak çelik ürünler bu örtü flaksın içinden geçirilerek çinkoya daldırılır. Malzemeler çinko dışına alınırken de bu flaks örtüsü yüzeyle temas etmemesi için kenara çekilmektedir.

Şekil 3.1.'de Prosesin genel adımları verilmiştir.



Şekil 3.1. Galvaniz kaplama proses adımları

3.2. Galvaniz Kaplama Süreci

Bu bölümde galvaniz kaplama sürecinin adımları sırasıyla aşağıda verilmektedir. Bu adımlar;

- Müşteriden siparişin alınması
- Galvaniz kaplanacak malzemelerin galvaniz operasyonlarına uygunluğunun kontrol edilmesi
- Malzemelerin teknik özelliklerinin belirlenmesi
- Malzemelerin askıya asılmak üzere hazırlanması ve askıya alınması
- Malzemelerin yağ alma operasyonuna alınması
- Malzemelerin asit ile temizlenmesi
- Malzemelerin suda yıkanması
- Malzemelerin flaks kaplanması

- Malzemelerin kurutulması
- Malzemelerin çinko kaplanması
- Malzemelerin hava ve su ile soğutulması
- Malzemelerin askılardan boşaltılması

3.3. Çinko Banyo Sıcaklığı ve Ürün Asma Yöntemi

Erimiş çinko banyosu normal şartlarda 445-465 °C aralığındaki sıcaklıklarda çalıştırılırlar. 480°C ve üzerindeki sıcaklıklardaki banyoda, çinko içerisindeki demir ve çeliğin çözülme hızı oldukça hızlı artar. Bu sıcaklıklarda banyoya daldırılan parça ve galvaniz tankı üzerinde genellikle zararlı, istenmeyen etkileri olur.

Sıcaklık artışı çinkonun akışkanlığının artmasına neden olur, bu durum doğrudan kaplama kalınlığına etki etmektedir. Kaplama kalınlığı her ne kadar yüzey özelliğine bağlı olsa da banyo sıcaklığının da dolaylı yoldan etkisi olmaktadır.

Kaplama kalınlığı, kaplanacak malzeme ve malzemenin yüzey özelliklerine ve malzemenin kompozisyonuna bağlıdır. Malzeme yüzeyinin pürüzlü bir yapıda olması galvaniz kaplama için olumlu bir özelliktir. Yüzey ne kadar pürüzlü olursa kaplamanın yüzeye yapışma olasılığı da o kadar atmaktadır.

Ürünlerin askıya alınma operasyonunda birkaç önemli unsur vardır. Bunlar;

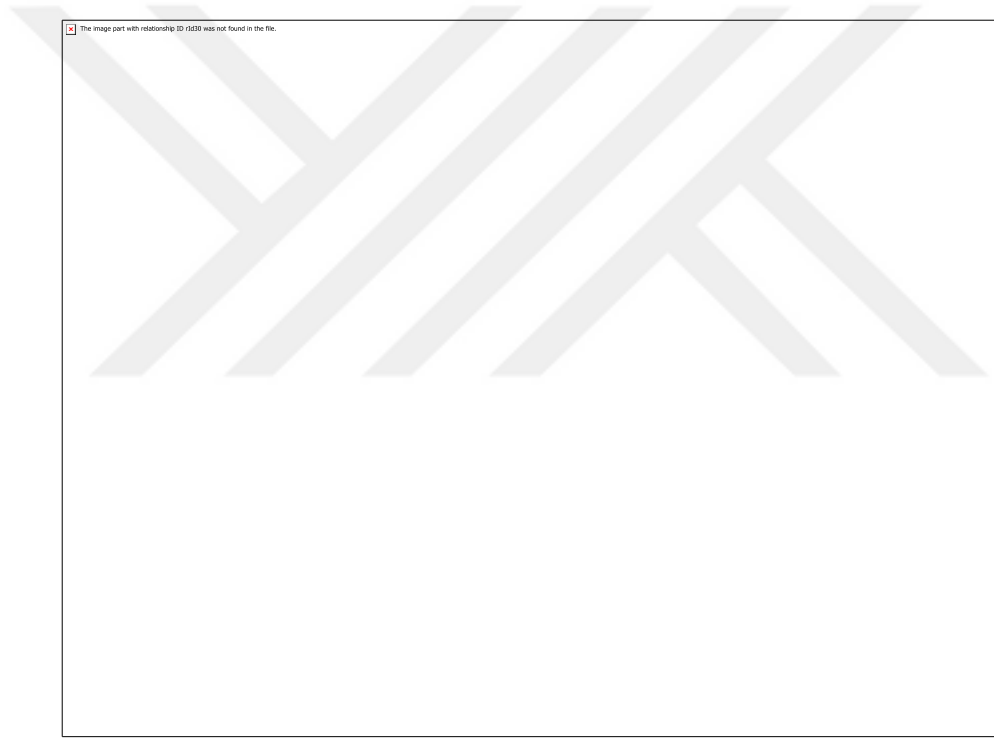
- Malzeme boyu 3 metre ve daha uzun olan ürünler askılara yan bir biçimde asılmaktadır. 3 metreden kısa olan ürünler dik olarak asılabilmektedir.
- Kalınlıkları 8 mm ve üzerinde olan parçalar, kalınlığı daha az olan malzemelerle birlikte asılmamalıdır.
- Malzemelerin birbiri ile temas etmediğinden emin olunmalıdır.

4. KOROZYON OLUŞUMU

4.1. Korozyon Nedir?

Metallerin çevre etmenlerinin etkisi ile kimyasal reaksiyonlar başta olmak üzere, elektrokimyasal reaksiyonların etkisinde hasar görmelerine korozyon denir. Korozyon doğal bir bozulma sürecidir.

Şekil 4.1.'de Malzeme yapısındaki korozyon gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Metal yüzeydeki korozyon görüntüsü(Aktürk, 2021)

Kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan korozyonda metalin bulunduğu ortam kurudur. Oluşan gaz metalde bir oksit tabakası (tufal) oluşturur ve bu tabakanın elektrik iletkenliği yoktur.

Elektrokimyasal reaksiyonlardaki korozyonda ise metalin bulunduğu alan ıslaktır ve kırmızı pas oluşumunu tetikler. Elektrokimyasal korozyon oluşumunda bahsetmemiz için iki elektrot anot ve katot, iletken, sıvı bir ortam aynı zamanda anot ile katot

arasında elektrik akımının aynı oranda oluşması gerekmektedir. Bu şartlarda oluşumu gerçekleşen hücreye korozyon hücresi (galvanik hücre) adı verilmektedir.

Korozyon oluşumunun engellenmesi için korozyon hücresini oluşumuna etki eden etmenlerden en az birinin etkisinin azaltılması veya etkisinin yok edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, malzeme seçiminin, kaplama yönteminin, tasarımın, katodik ve anodik koruma ve çevre kontrolü gibi faktörlerin büyük önemi vardır.

Çoğu proseste korozyon, erken arızalara ve bozulmalara yol açmaktadır. Bu bağlamda korozyonun farklı şekillerde oluşabilmesi, öngörülebilirlik ve kontrol edilebilirlik açısından çoğu zaman farklılıklar göz önüne serilebilir. Örnek vermek gerekirse; gerilmeli korozyon çatlaması, çekme gerilmesi ve aşındırıcı bir ortamın varlığında yüzeyde ince çizikler halinde meydana gelir. Bir diğer örnek; aşındırıcı bir sıvı ile arasındaki bağıl hareket, metal bir yüzeyde çok kısa bir sürede aşınma korozyonuna neden olabilir.

Korozyonun her alanda sosyal ve ekonomik etkisi hala çok büyük önem taşımaktadır. Her geçen yıl iyileşen korozyon kontrolü uygulamalarına rağmen korozyon tamamen önlenmeyen sadece en aza indirgenmeye çalışılan doğal bir süreçtir.

Korozyonu önlemek için çok farklı yöntemler mevcutta kullanılmaktadır. Örneğin; Yüzey sertleştirme, difüzyon tedavisi, kaplama, katodik ve anodik koruma bu yöntemlerden bazılarıdır. Korozyona karşı koruma yöntemlerinden biri olan galvanizleme ile korozyon direncini arttırmak istenen malzemeye çinko-çelik alaşımı ile kaplamadır. Başka bir yöntem olan difüzyon işlemi korozyondan koruma yöntemlerine iyi bir örnektir.

Yüzey kaplama işlemleri yüzey özelliklerini iyileştirdiğinden korozyonu geciktirir bir etki yaratmaktadır. Mevcut bulunan yöntemler arasında maliyet ve performans açısından kullanılabilirliği en fazla olan yöntemdir.

4.2. Korozyon Reaksiyonları

Korozyon oluşumu aşamasında; hücrelerinin anot ve katot her ikisinde de aynı zamanda meydana gelen indirgenme ve yükseltgenme tepkimeleri bize denklem sonuçları vermektedir.

Anodik reaksiyonlar:



Katodik reaksiyonlar:



Demir hidroksit:



Korozyon sonucu oluşan $2Fe(OH)_2$ (demir-2 hidroksit) bulunduğu alanda ihtiyacı olan oksijenin bulunması halinde yeniden oksitlenerek $3Fe(OH)_2$ (demir-3 hidroksit) yani “Pas” dediğimiz yapıya dönüşmektedir.



Oluşan demir-3 hidroksit uygun koşulların oluşması halinde γFe_2O_3 halinde demirin yüzey kısmına yapışarak demirin aktif halde iken pasif hale dönüştürmektedir. Eğer ortamda klorür iyonlarına benzer aktif özellikte iyonlar var ise, korozyon oluşumunun ardından oluşan demir iyonları klorür ile tepkimeye girerek suda kolay çözünebilen demir klorür iyonunu oluşturur ve demir yüzeyinden uzaklaşır. Reaksiyonlardan çıkaracağımız sonuçlarda, nötr bir alanda korozyon oluşabilmesi ve ilerleyebilmesi için oksijene ve suya mutlaka ihtiyaç vardır.

4.3. Korozyon Çeşitleri

Anot ve katotların rastgele dizilmesi ile farklı düzeneklerin oluşması korozyona maruz kalan malzemelerde farklı görüntülere yol açmaktadır. Malzemedeki oluşan bu farklı görüntüleri 4 ana başlıkta toplamak mümkündür.

4.3.1. Homojen dağılımlı korozyon

Sürekli oksijen ile temasta bulunan malzemelerde meydana gelen korozyon genellikle homojen dağılımlı korozyondur. Bu tür korozyon tipinde anot ve katot reaksiyonları ilgili malzemenin bütün yüzey alanında düzgün bir dağılım sergilemektedir.

Homojen dağılımlı korozyon oluşumu diğer korozyon oluşumlarına göre zararı en minimal olanı olarak nitelendirilebilir. Bu durumun sebebi ise malzemede herhangi bir çukur, kırılma vb. yapı meydana gelmeden malzeme kullanılmaya devam edilebilecektir.



Şekil 4.2. Homojen dağılımlı korozyon

4.3.2. Galvanik korozyon

Farklı malzeme yapısındaki iki ayrı malzeme elektrolit içerisine batırıldıktan sonraki adımda bir iletkenle yardımı ile birbirlerine bağlanmaları sonucunda galvanik pil oluşumu meydana gelmektedir. Galvanik pil oluşumuyla malzemelerde oluşan gerilim ile elektron geçişı meydana gelir ve böylece pilin anot kısmında negatif gerilimde olan malzeme korozyona maruz kalır. Paslanma hızı, anot ve katot bölgelerinin arasında yer alan bölgenin potansiyel farkına bağlıdır (Onaran, 2).



Şekil 4.3. Galvanik korozyon

4.3.3. Çatlak korozyon

Metallerde bulunan çatlak veya yarık yüzey ile ortam arasındaki oksijen yoğunluk farkından meydana gelen korozyon tipidir. Çatlak korozyonun oluşmasındaki etmen, çatlak içi ve/veya aralık ile çevre elektrolit arasında oksijen yoğunluğu veya metal iyonu yoğunluğunun farklı olmasıdır.



Şekil 4.4. Çatlak korozyonu

4.4.4. Oyuklanma korozyonu

Genellikle dairesel kesitli malzemelerde meydana gelen korozyon tipidir. Oyuklama korozyonunda anot ve katot reaksiyon bölgeleri birbirinden tamamen ayrılmış şekildedir. Korozyon tiplerinin en tehlikesi diyebiliriz. Malzemede oluşan oyuklanma korozyonun tehlike arz etmesinin başlıca sebebi malzemenin delinmesine yol açarak düşük korozyon seviyelerinde dahi tehlikeli olabilmesidir.



Şekil 4.5. Oyuklanma korozyonu

4.4. Korozyona Karşı Alınması Gereken Önlemler

Korozyonun teknik ve maliyet açısından en aza indirgenmesi için başvurulacak yöntemler bölüm 4.1’de de bahsedildiği üzere çok çeşitlidir. Ancak aşağıdaki maddelerde dikkate alınması büyük bir önem arz etmektedir.

1. Malzemeye uygun tasarımlarla korozyona yol açan faktörleri en aza indirmek,
2. Seçilen uygun işlemlerde ortamın korozif özelliğini kısmen veya tamamen giderme,
3. Yüzey kaplamaları ile malzemeyi koruma,
4. Katodik koruma,
5. Korozyona karşı dayanıklı malzemeler kullanma

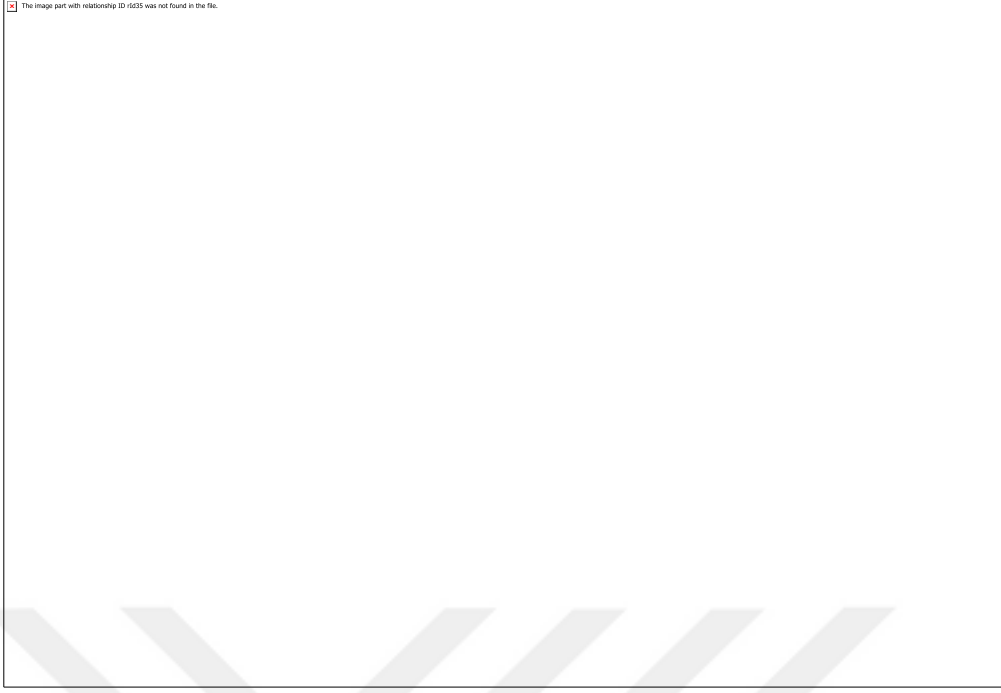
Korozyon oluşumunu en aza indirmek için kullanılan adımları yukarıdaki gibi beş ana grupta toplanabilir.

4.5. Korozyon Testleri

Malzemeye kaplama yapıldıktan sonra malzemenin korozyon direncinin yüksek olması beklenir. Fakat bu ifadenin sonuca ulaşabilmesi için öncelikle malzemenin doğal ortamda paslanmasının beklenmesi gerekir ki bu da çok uzun yıllar sürebilir. Bu nedenle uluslararası normlara sahip hızlandırılmış korozyon testleri uygulanır.

Bu testlerde en yaygın ve en iyi bilineni, tuz püskürtme test kabinlerinde yapılan paslandırma testidir. Bu tezde de kullanılan yöntemdir.

Tuz sis dayanım testi cihazında numuneleri, 35 ± 2 °C sıcaklıklardaki kabinlerde %5 konsantrasyondaki tuzlu su istenen deney süresi boyunca kesintisiz olarak kaplananmış numune üzerine püskürtülür. Deney sonunda kaplamalı parçaların, paslanma derecesi, çatlama derecesi, bir çizik etrafında parçalara ayrılması ve korozyon direnci ölçülmektedir. Bu işlem prosesinde parçanın kaç saatte paslandığı gözlenir ve raporlanır.



Şekil 4.6. Tuz sisi test cihazı (Doğuş Üniversitesi)

Şekil 4.6’da görseli verilen makinan genel çalışma prensibi; numuneleri, 35 ± 2 °C sıcaklıklardaki kabinlerde %5 konsantrasyondaki tuzlu su, püskürtülerek parçanın maruz kalabileceği dış etmenlerdeki dayanımı ölçülür. İstenen sürelerde malzemenin maruz kaldığı tuzlu su çözeltisi ile oluşan korozyon derinliği bize malzeme hakkında kullanılabilir veya kullanılamaz sonucu verir.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

5.1. Literatür Araştırması

Bu bölümde, literatürde yer alan üç boyutlu (3B) yazıcılar ile yapılan çalışmalar ve Galvaniz kaplama ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen deneysel verilerin ve sonuçların özetleri sunulmaktadır.

Lakner ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş soğutma kanalları bulunan bir freze kesici takımının üretilmesi ve bu parçanın aşınma direnci, titreşime karşı gösterdiği tepkileri incelemişlerdir. Üretilen parça, 4 eksenli freze makinası (NHX-5000) ile test edilmiştir. AISI 4140+QT (42CrMo4+QT) malzemesi incelenmiştir.

Thardening = 880 °C, su verme ve temperleme sıcaklık aralığı Tquench = 540°C -660 °C, gerilme direnci $R_m = 1300 \text{ N/mm}^2$. Sonuçta eklemeli olarak üretilen takımda %67 daha az aşınma görüldü. Takım ömrünün arttığı görüldü. Eklemeli olarak üretilen takımdaki kesme kuvvetinin %8.5daha büyük olmasının nedeni malzeme özelliklerinden ‘toz imalat yöntemi P/M’ kaynaklanmaktadır.

Wang ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada, nikel esaslı süper alaşımlar, yüksek dayanım, ısı kararlılık ve yüksek korozyon direnci nedeniyle, geniş ölçüde uzay, deniz ve nükleer endüstride kullanılmaktadır. Toz metalürji ile üretilmiş Karbit kaplanmış FGH97 süper alaşım özellikleri 650-750°C sıcaklığında, 20m/min devirden daha az devirde gözlemlenmiştir. 25m/dk ve yüksek kesme sıcaklığında kesici ucun köreldiği görülmüştür. Ve ilerleme hızı 0.03 ve 0.05 mm/rev olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, kesme ve ilerleme hızları arttığında körelme görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme hızlarından etkilenmektedir. Yüksek kesme sıcaklığında, takım kırılmadıkça iyi yüzey kalitesi elde edilir.

Montevecchi ve diğerleri (2016), yaptıkları çalışmada, kesme kuvvetleri iki farklı eklemeli üretim yöntemi olan lazer depolama ve tel beslemeli eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçalar üzerinde araştırma yapmışlardır. LaserEngineered-Net-Shaping (LENS); Wire-Arc-Additive-Manufacturing (WAAM). LENS malzeme tozlarından

lazer gücü ile WAAM ise tel bazlı malzeme ve elektrik arkı ile üretim yapmaktadır. AISI H13 düşük alaşımlı çelikler sınıfındadır ve genellikle kalıp üretiminde kullanılır. Kesme testleri yapıp, kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Test 4mm çaplı katı karbit ile yapılmıştır. Ardından sertlik testleri, Rockwell yöntemi ile yapılmıştır. İşlenmiş 19HRC, LENS 59HRC, WAAM 55HRC. Kesme kuvveti katsayıları araştırılmıştır. Makine titreşiminden etkileneceğinden anlık değerler yerine ortalama değerler kullanılmıştır. Kesme hızı 120 m/dk. Sonuçta, LENS malzemesinin sertlik ve kesme kuvveti değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti katsayıları sırası ile LENS, WAAM, işlenmiş olarak büyükten küçüğe verilmiştir. Bu çalışmada AISI H13 eklemeli üretilmiş malzemenin işlenebilirliği, dövülmüş malzemeye göre çok daha düşük olduğu incelenmiştir. Gerçekten de çalışmanın gösterdiği sonuçlar, kesme kuvvetinde ve kesme kuvveti katsayılarında önemli artışlar bulunmaktadır.

Coz ve diğerleri (2016), yaptıkları çalışmanın amacı, lazer ergitmeyle üretilen Ti-6Al-4V malzemenin işlenebilirliğini araştırmışlardır. SLM ile üretilen parçalarda füzyon katmanlardaki kalınlık nedeniyle ve kısmen sinterlenmiş parçacıkların köşeye yapışmasından pürüzlülük görülür. SLM işleminde yüksek enerjili lazer toz parçacıkları ergitir. Toleranslar yaklaşık 40-80 μm 'dur. İşleme Ti alaşımları kolay darbe alır, mikro çatlaklar oluşur.

Üretilen parçalar, dikey frezede test edilmiştir. 36000 rpm. Deney malzemesinin dış çapı 20 mm. Sonuçta, kesme ve ilerleme kuvvetleri döküm ile üretilen parçaya göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma hızına göre talaş kalınlıkları ve özellikleri incelenmiştir. 500 m/min üzerinde çok ince ve kırılgan olduğu görülmüştür. 12 m/dk işleme hızı ve 3 μm 'dan daha düşük ilerleme hızında kuvvet artışında ve ana sürtünme katsayısı mevcuttur. Mikro kesme, makro kesmede olduğu gibi büyük deformasyona uğrama olmaz. Talaş morfolojileri iki materyal için de benzerdir. Her ikisi için de bölünmüş ve deforme olmuş talaş kalınlığı, açılım kesme hızı ve ilerleme hızı karşılaştırılabilir. Yeraltı mikro yapıları kesmeden özellikle etkilenmezler.

Bohlen ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada, toz metalurjisi ile sıcak iş takım çelikleri üretmişlerdir. Bu araştırmada takım çeliği 1.2344 araştırılmıştır. Küresel toz 1.2344 50 μm ve 100 μm tane boyutunda kullanılmıştır. Tavlanmış 1.2344 sertliği 240 HV, temperlenmiş sertlik 620 HV maksimum tavlama sıcaklığı 480 °C'dir. Farklı lazer güçlerinde, toz parçacıkların sinterlenmesiyle ince duvarlar örüldü. Sıcaklık değişimi,

parçanın ucundan uzakta olacak şekilde zayıflamalıdır. Malzeme sıcaklık değişimleri, mikro yapıları ve sertlikleri araştırılmıştır. Dilalometre yardımıyla, parçadaki boyut ölçülerindeki değişimler zamanın veya sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Tekrarlanan katman birikmesi, ısıtma işlemi adı verilen tekrarlı bir ısınmaya ve söndürmeye neden olur. Martenzitik sertleşebilir çelikler için ortaya çıkan mikro yapı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ek olarak, tekrarlanan ısı girişi nedeniyle, ortalama sıcaklık martenzitin önemli tavlama etkilerinin ortaya çıkabileceği şekilde yükseltilebilir. Martensit formasyonunun, temperleme etkileri kuvvetle geometriye, işlem parametrelerine ve parçalar içindeki hareketine bağlıdır. Sıcak çalışma takım çeliği 1.2344 lazer biriktirme ile üretildiğinde ince çeperli parçalar üretilebilir. Parçalardaki içyapı ve sertlik içsel ısıtma değişimi nedeniyle homojen olmayabilir. Bu nedenle, istenen yapıyı yönünün yerel dayanım özellikleri dikkate alınmalıdır. Aksi halde lazer metal biriktirme işleminden sonra ısıtma işlemi gerekebilir.

Abe ve diğerleri 2001'de yaptıkları çalışmada, metalik tozlardan daha mukavemetli metalik parçalar üretebilmek için, metal tozlarını art arda erittikleri ve mikroskopik bir bölgede katılaştırdıkları seçici lazer eritme yöntemi kullanmışlardır.

Üç boyutlu şekillerin üretiminde, üründe hızlı ısıtma, su verme ile sapma ve çatlamalara neden olur. Problemleri çözmek için, YAG ve CO₂ lazer ışınlarının birbirinden az miktarda dengelendiği ve tarandığı bir çift lazer tarama sistemi önerilmiştir. Üç noktadan bükülme testi ve Vickers sertlik ölçümlerinin sonuçlarından, oluşan lineer numuneler üzerinde YAG ile ısıtmadan sonra CO₂ ile yeniden ısıtma, malzemenin özelliklerini geliştirir. Erime sonrası yavaş soğutmanın veya yeniden ısıtmanın, artık gerilimi ortadan kaldıracak ve sünekliği artıracak olduğu düşünülmektedir.

Kalıplarda en iyi metalik tozları bulmak için bazı malzemeler test edilmiştir: alüminyum (Al), bakır (Cu), demir (Fe), paslanmaz çelik (SUS 316L), krom (Cr) ve nikel bazlı alaşımlar. Çalışmanın devamında gösterildiği gibi, nikel bazlı bir malzemenin iyi bir aday olduğu bulunmuştur. Nikel bazlı alaşım tozu %83,6Ni, %9,4 Cr, %1,8 B, %2,8 Si, %2,0 Fe, %0,4 C kimyasal bileşime sahiptir ve sertlik (HV> 600) ve korozyon direnci nedeniyle kaplama işlemi için kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, bir model kalıbını Nikel bazlı alaşım kullanılarak üretebileceği kanıtlanmıştır, ancak modellerde oluşan sapma ve çatlama gibi bazı fiziksel bozukluklar, üç boyutlu model oluşturulduktan sonra gözlemlenmektedir.

Çift lazer tarama sistemi ise YAG lazer tarafından eritilen ve katılaştırılan parça, uygun bir zaman gecikmesi ile CO2 lazer ile yeniden ısıtıldığında oluşan malzemenin sünegliğini geliştirir.

Tröster ve diğerleri (2013), yaptıkları çalışmada, SLS, görece iyileştirilmiş yüzey kalitesine ve kütle yoğunluğuna sahip net şekilli bileşen özelliklerine yakın özellikler sağlamak için çok umut verici bir DM tekniğidir. Yine de işlem kaynaklı kusurların, yani mikron büyüklüğündeki gözeneklerin ve işlem üzerine artık gerilmelerin mevcut olduğu ve gelecekteki uygulamalarda, örneğin; havacılık ve biyomedikal sektörlerinde dikkate alınması gerektiği üzerinde durulmuştur. Ayrıca, yorulma yüklemesi, bu bileşenler için kritik bir senaryodur ve kapsamlı bir şekilde araştırılması gerekir. Sonuç olarak, bu çalışma, SLS yöntemi ile üretilen TiAl6V4 alaşımı için yoğun bir yük altında sağlam mikroyapı-kusur-özellik bağlarını kurmayı hedeflemektedir. Mekanik testlere baktığımızda, sıcak izostatik presleme, elektron mikroskobu ve bilgisayarlı tomografi kullanılarak mikron büyüklüğünde gözeneklerin esas olarak yorulma dayanımına etki ettiğini, kalıntı gerilmelerin yorulma çatlak büyümesi üzerinde yoğun ve güçlü bir etkisi olmuştur.

Leuders ve diğerleri (2012), yaptıkları çalışmada, standart şekillerde birkaç TiAl6V4 örneği, yüksek devirli yorulma (HCF) testi ve çatlak büyümesinin araştırılması için kompakt gerilim (CT) örnekleri için silindirik biçimler kullanılmıştır. Örnekler, SLM AutoFab yazılımı (Marcam Engineering GmbH) ile birlikte SLM AutoHab yazılımı (SLM Solutions GmbH) ile birlikte ve maksimum 400 W gücünde bir itiriyum fiber lazer kullanan bir SLM 250HL makinesi kullanılarak işlenmiştir. Platform 100 ° C'ye ısıtılmıştır. Ti-6-4 tozunun X ışını floresans analizi yoluyla kimyasal analizler, sırasıyla %0.14 ve %0.04 oksijen ve azot içeriğini gösterdi. SLM işleminin ardından her iki element de önemli ölçüde zenginleştirilmedi ve %0.17 oksijen ve %0.06 azot saptandı. Her test dizisi için en az beş gerilme örneği kullanılmıştır. 800 ° C'de işlem gören Ti-6-4 ısı 93.000 döngü ortalama yorulma ömrünü gösterdi, 1050 ° C ısı 1050 ° C ısı 290.000 döngü yorulma ömrü göstermiştir.

Sonuç olarak, SLM tarafından üretilen Ti-6-4 malzeme davranışı direk mikro yapıyı etkilemekte ancak ısı 1050 ° C ile uygun hale getirilebilmektedir. Bu hassas bir konudur, çünkü hali hazırda Ti-6-4 numuneleri, başlangıçta oluşan α martensitinden kaynaklanan negatif bir mikro yapı oluşturmaktadır.

Çatlak büyümesinin bir diğer evresinde, malzemenin yapısı iç gerilmelerden daha fazla etkilendir. Test sonuçları, mikro yapıyı içerisinde herhangi bir değişiklik olmadan düşük sıcaklıkta uygulanan ısıtma işlemdeki gerilmenin bile, geleneksel yöntemle üretilmiş Ti-6Al-4V'e benzer bir yorulma çatlak büyüme davranışına yol açtığını bu çalışma sonucu ortaya koyulmuştur.

Kobryn ve diğerleri (2000), yaptıkları çalışmanın amacı, Proses parametrelerini Ti-6Al-4V tortularının yapısı ile ilişkilendirmeye yönelik bir çalışmadır. Lazer gücünün, hareket hızının, durma mesafesinin (lazer odak), kapak açıklığının (çizgi örtüşmesi), katman kalınlığının ve toz akış hızının, tarama faktörü deneyi kullanarak yapı yüksekliği ve birikme gözenekliliği üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Genel amaç, lazer gücü, hareket hızı ve alt tabaka kalınlığının gözeneklilik, yapı yüksekliği ve lazerle biriken Ti-6Al4V'nin mikroyapısı (örneğin tane büyüklüğü) üzerindeki etkisini belirlemektir. Sonuçlar, bireysel işlem parametrelerinin yanı sıra proses enerjisinin (hareket hızıyla bölünen güç) önemini ortaya koydu.

Temel olarak, lazer her geçtiğinde üst tabakada yerel olarak yeni bir HAZ oluşmuş, bu durum gözlemlenen makro yapısal ve mikro yapısal değişimlere neden olmuştur. Ortalama tane genişliği (alt tabakadan uzak), hem ince hem de kalın alt tabaka birikintileri için (122 mm, 17 mm ve 116 mm, 14 mm) benzer ortalamalar ve standart sapmalar ile 94 ila 165 mm arasında değişmiştir. Tane genişliği, artan travers hızı ile azalmıştır, fakat güç seviyesinden büyük ölçüde etkilenmedi. Böylece, tane genişliği de proses enerjisi ile artma eğilimindedir. İnce alt tabaka ve kalın tabaka alt verileri, büyük ancak benzer değişkenlik gösteren neredeyse aynı eğilimler sergilenmiştir. Tane genişliğinin artan enerji ile artan gözlenen eğilimi beklendiği gibi tane büyüklüğü artan soğutma hızı ile düşme eğilimindedir. Yüksek enerji, düşük bir soğutma hızı sağlayacak olan yüksek güç ve düşük hız kombinasyonu ile mümkündür.

Sonuç olarak, Ti-6Al-4V'nin lazer biriktirmesi, sütun sıcaklıkları ve çok ince dönüşümlü mikro yapılara yol açan yüksek sıcaklık gradyanları ve yüksek soğutma hızları ile karakterize edilir. Sütunlu tanelerin genişliği, yüksek travers hızlarla ilişkili artan soğutma oranlarıyla azalır ve büyük ölçüde alt tabaka kalınlığından etkilenmez.

Hem füzyon eksikliği hem de gaz gözenekliliği, travers hızı ve güç seviyesi arttıkça düşer.

Genel yapı yüksekliği artan hızla azalır, ancak güç seviyesinin etkisi basit değildir. Füzyon eksikliği gözenekliliği katılaşma koşullarını ve lazer biriktirme sırasında ortaya çıkan yapı yüksekliğini büyük ölçüde etkileyebilir.

Kugaevskii ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, kesici takım üretimi için eklemeli imalatın kullanılması analiz ediliyor. Metal tozunun (SLM) lazerle ergitilmesi ile imal edilen kesici takımın operasyonel kabiliyetlerinde (mukavemet, sertlik), geleneksel yöntem kullanılarak imal edilen kesici takımdan daha düşük olmadığı gösterilmiştir. Aynı zamanda, eklemeli imalat yönteminin, soğutma sıvısı tedariki için karmaşık şekilli özel delikler açmasına olanak sağlamasıyla daha verimli kesici takımların üretilmesini mümkün kıldığı gösterilmiştir. Ek olarak, eklemeli imalatın en önemli avantajı üretim döngüsündeki adımların azalmasına bağlı olarak kesici takım maliyetlerini de düşürdüğu gösterilmiştir.

Talaşlı imalatın verimliliğini sınırlayan en önemli sorunlardan biri, işlenmesi zor malzemeleri işlerken kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıktır. Bu durumlarda kesme bölgesindeki sıcaklık 950'ye ulaşır. Bu sıcaklıklarda, kesme plakasının malzemesi yumuşar ve kesici kenar hızla şeklini kaybeder. Eklemeli imalat ile üretilen kesici takımlar içerisinde geleneksel üretim metotlarında mümkün olmayan soğutma sıvısı kanalları eklenerek takımların ömrü ve verimliliği arttırılmıştır.

Eklemeli imalatın kesici takım üretiminde kullanılmasıyla, kesici takım üretiminde kullanılan tornalama, frezeleme, matkap gibi işlemler gerekmezsin tek bir üniteye üretim sağlanır. Bu sayede enerji tüketimi, personel, üretim tezgâhları, üretim binası, tezgâhlar arası parça dolaşımı gibi etmenler ortadan kalkarak önemli bir ekonomik kazanç sağlanır.

Mikolajczyk ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, karmaşık şekillerin üretiminde yoğun olarak kullanılmakta olan ü boyutlu (3B) yazıcılarda da sıklıkla kullanılan CAD CAM sistemlerinin son zamanlarda hibrit üretim ve farklı üretim işlemlerini birleştiren parça oluşurmada önemli rol oynamaya başlamıştır. Hibrit yapının üretimi baskılı ve metal elemanlar kullanılarak bu parçalarının boyutlarının uygun ve doğruluğunu elde etmektedir. Baskı kontrol dosyası Slic3R yazılımı ile geliştirilmiş, tasarlanan parçalar ise PLA malzemesi kullanılarak basılmıştır.

3B baskı tekniklerinin özel bir özelliği tasarımı doğrudan CAD modelinden geliştirmek için bir G kod kontrol dosyasını üretme yeteneğidir. CAD yazılımı ve kontrol baskısı işlemi için CAD’ de geliştirilen Stl dosyasından G kodunu üretmek için kullanılan yazılımın bileşimi ilave üretim teknolojisine özgüdür.

Hibrit yapıda, 3B baskı ile üretilen parçaların doğru boyutsal doğruluğunu sağlamak gerekir.

Ma ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada, lazer parlatma katmanlı üretin teknolojisi ile üretilmiş metallerin yüzey pürüzlülüğün azaltmak için potansiyel bir yöntem olarak kabul etmişlerdir. Bu çalışmanın amacı lazer parlatmanın TC4 ve TC11 olarak üretilen lazer katkı maddesi üzerine etkilerini anlamak.

Nominal bileşime sahip Ti-6Al-4V (TC4) ve TC11-BT9 titanyum alaşımlı blokları seçildi. Alaşımlı bloklar lazer katkı maddesi imalatıyla üretildi.

TC4 ve TC11’ in ilk substratlarının ortalama sertliği sırasıyla 345HV ve 400HV’ dir. Lazer cilalı katmanda, yüzeylerde α Martenzitik faz oluşması nedeni ile sertlik ilk malzemeye göre %32 ve %42 artar. Lazer parlatılmış yüzeylerin aşınma izlerinin, alınan yüzeylerden daha küçük olduğunu göstermektedir. Lazerle parlatılmış TC4 ve TC11 yüzeylerin aşınma direnci, alındığı yüzeye kıyasla büyük oranda geliştirilmiştir.

Dutta ve Froes (2017), yaptıkları çalışmada, toz yataklı füzyon teknolojileri daha net çözünürlüğe sahip net şekillerin yanında içi boş yapı oluşturmayı sunarken, yönlendirilmiş enerji bazlı teknolojiler mevcut parçalara özellikler ekleme ve parçaları doğrudan CAD verilerinden oluşturmanın yanında hasarlı parçaları yeniden üretme /onarım kabiliyeti sunar. Çalışmaların çoğu, katmanlı üretim teknolojisi ile mekanik özelliklerinin geleneksel olarak üretilen titanyum alaşımlarından daha iyi olduğunu ortaya koymaktadır.

Wang ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada, yerinde nötron difraksiyonunu kullanarak 600° C ve 700° C’ de ilave olarak imal edilmiş Ti6Al-4V’ deki gerilme-gevşeme davranışları incelendi.

600° C ve 700° C’de geleneksel olarak işlenmiş ve ilave olarak üretilen Ti6Al-4V’de mikroskobik gerilme ve tane yönelimine bağlı kafes gerginlikleri 60-90 dk sonra ihmal edilebilir gerilme hızla düşmüştür.

Aynı sıcaklıkta ve tatbik edilen gerginlikte ilave olarak imal edilmiş Ti-6Al4V, daha düşük bir tepe gerilmesine, gerilme-gevşeme oranına ve geleneksel olarak işlenmiş Ti-6Al-4V' ye kıyasla benzer bir tepe gerilmesine sahipti. Neredeyse %5'lik bir sıkıştırılmış plastik şekillendirme ve uygulamasının 10 dk' sında, sonuçta ortaya çıkan gerilmenin %60-65' i 600 °C' de ve elde edilen gerilmenin %70-80' i ilave olarak imal edilmiş ve geleneksel işlenmiş olarak 700 °C' de rahatlatılmış.

Termomekanik modellerde, artık gerilmeleri tahmin etmek ve en aza indirmek ilave üretim tarafından yapılan bileşenlerde ortaya çıkan bozulmayı önlemek için kullanılabilir.

Nagarajan ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, üç boyutlu baskı makinesinde SLM yönteminin metalik malzemenin ustalık durumunu mikro ölçekli seviyede incelemektedir. Mikro ölçekli ve nano ölçekli AM, Engstrom, metaller, polimerler ve organik moleküller dahil olmak üzere çeşitli malzemeler kullanılarak 100nm' nin altında bir çözünürlüğe sahip nihai parçalar üreten ilave nanoman üretici (ANM) tekniklerinin bir incelenmesi yayınlandı.

Metalik malzemelerde mikro ölçekli özellikler elde etmek için SLM tekniğinin kullanımını sistematik olarak inceler. Mevcut mikro SLM sistemleri minimum 15 µm özellik çözünürlüğü, 1 µm min. yüzey pürüzlülüğü ve %99,3'lük max. Parça yoğunluğu sağlar. Kullanılan sistemler min. nokta büyüklüğüne ve sırasıyla 20 ve 1µm katman kalınlığına ulaşır. Toz yataklı AM sistemlerinde uygulanabilirliği için bir dizi potansiyel kuru toz dağıtım yöntemini gözden geçirmektedir.

Amado ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada, iki farklı titanyum tozu kullanılarak ticari olarak saf titanyum (CPTi) lazer metal birikimi ile elde edilen sonuçlar sunulmuş ve karşılaştırmışlardır. Çalışmanın amacı, bir veya diğer tür toz kullanımının lazer işleme özellikleri ve biriken malzemenin nihai özellikleri üzerindeki olası etkilerini analiz etmektedir.

Metalografik inceleme altında, her iki malzemede benzer faz kombinasyonu ve mikro yapı desenleri gösterdi. Mikro sertlik ve korozyon direnci konusunda ölçülebilir farklılıklar yaşandı. Sünger tozlarında biriken CPTi' nin sertliği gaz atomlu tozlardan elde edilenden daha yüksektir. %3,5 NaCl çözeltisinde elektrokimyasal testlerle değerlendirilen korozyon davranışı daha zayıf olmakla birlikte, yine geleneksel olarak

Üretilmiş bir CPTi plakası ile gösterilene kıyasla daha düşüktür. Elde edilen sonuçlara dayanarak, sünger tozlarının ticari olarak saf titanyum lazer üretimi için kullanılması, geleneksel küresel atomize tozlara, özellikle maliyet tasarrufları asıl mesele olduğunda, potansiyel ve ilginç bir alternatif olarak görülmektedir. %3,5 NaCl çözeltisinde elektrokimyasal testlerle alternatif değerlendirilen korozyon davranışı daha zayıf olmakla birlikte, yine de geleneksel olarak üretilmiş bir CPTi plakası ile gösterilene kıyasla daha düşüktür. Elde edilen sonuçlara dayanarak, sünger tozlarının ticari olarak saf titanyum lazer üretimi için kullanılması, geleneksel küresel atomize tozlara ilginç alternatif olarak görülmektedir.

Buchinger ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, geçiş metali nitrür ince filmler geleneksel olarak düşük bir kırılma tokluğuna sahiptir. Kısa süre önce keşfedilen kırılma tokluğu arttırıcı yüzey (SL) etkisinin yanı sıra, TiN/WN st tabakaları için teorik çalışmalar tarafından tahmin edilen tokluk potansiyeli oldukça yüksek olduğundan, DC reaktif megnetron püskürtme ile bu malzemelerin bir serisi sentezleniyor.

Deneysel olarak ölçülen en yüksek kırılma tokluğu iki tabakalı 10,2 nm periyodu olan TiN/WN için $4,6 \pm 0,2$ MPa/m, TMN'lerin alanı içinde kaydedilen en yüksek değerler arasındadır ve monolitik TiN ve WN' mizi önemli ölçüde açmaktadır. Bu değer $2,8 \pm 0,1$ ve $3,1 \pm 0,1$ MPa/m verdi. Kırılma tokluğunun bu ilerlemesi hesaplanan Pugh ve Pettifor' un bu malzemeler için kriterindeki eğilimi yansıtır. Böylece benzer katagordeki malzemenin kalitatif olarak karşılaştırılması için uygulanabilirliklerini doğrular. Ayrıca, $48,8 \pm 3,5$ j/m kırılma enerjisi zor SL kaplamanın monolitik kolay ($15,2 \pm 1,4$ j/m) kıyasla üç kat bir artışı oluşturur. Tokluk değerlendirilmesinin ötesinde, çalışmamızın önemli noktaları arasında $36,7 \pm 0,2$ GPa' lık bir sertlik tepe noktası, min. 387 ± 2 GPa girinti modülünün min. değeri ve SL yapısı içindeki daha uyumlu WN katmanlarında bir deformasyon konsantrasyonu bulunur.

Prakash ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada, mevcut ilave retim (AM) teknolojisinin ana süreçlerini, materyallerini ve uygulamaları gözden geçirilmiştir.

İlave retim teknolojisinde (yani RP metodolojisi) karmaşık geometrilerin üç boyutlu kısımları malzeme katmanlarının sırasıyla biriktirilmesi ile oluşturulur. RP metodolojisinin en önemli avantajlarından biri, doğrudan CAD modelinde bitmiş bileşenlerine geçme kapasitesi ile en hızlı büyüyen otomatik teknolojilerinden biridir.

AM teknolojisinin avantajları; tasarımın yanlış yorumlanmasından kaynaklanan hatalar en aza indirilmiştir. Bir CAD modelinden bir prototipe, yetenekli makine çalışanı olmadan gidilebilir. AM teknolojisi ile daha kısa sürede parça üretilebilir.

AM teknolojisinin dezavantajları; boyut sınırlamaları, kusurlar ve maliyet olarak ele alınmıştır.

Lee ve diğerleri (2017), sundukları makalede, temel bakış açısına göre her bir özel uygulama için mevcut malzemeler, üretim hızı ve 3D baskı işlemlerinin çözünürlüğünün dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Standartlara göre (ISO/ASTM), AM işlemleri yedi kategoriye ayrılabilir.

1. Bağlayıcı Jet,
2. Yönlendirilmiş enerji biriktirme,
3. Malzeme ekstrüzyonu,
4. Malzeme jeti,
5. Toz yatak füzyonu,
6. Tabaka laminasyonu,
7. Tekne foto polimerizasyonu olarak incelenmektedir.

Tipik bir AM işleminde, üretim hızı ve çözünürlük en kritik temel özelliktir.

Yeni nesil AM işlemlerinin geliştirilmesinde iki ana zorluk vardır:

1. Düşük enerji tüketimi ile AM işlemlerinin hız ve çözünürlüğünde iyileşme
2. Ayarlanabilir mekanik, kimyasal, fiziksel özelliklere sahip yeni 3B baskı malzemelerinin geliştirilmesi AM teknolojisinin de oldukça gelişmesine yol açacaktır.

Galvin ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, Ti_3SiC_2 elektroferotik biriktirme kullanılarak titanyum substratlar üzerinde biriktirilmiştir.

Yaklaşık %10 hacim safsızlık içeren Ti_3SiC_2 tozu TiC fazı deneylerde besleme stoku olarak kullanılmıştır. PH ayarlaması seyreltik hidrolik asit ve sodyum hidroksit çözeltileri kullanılarak yapıldı. Substrat materyali olarak titanyum folyo kullanıldı. Yüzeyler 100×50 mm tabakalara kesilmiş ve yüzeyler herhangi bir gres ya da parmak izi çıkarmamak için izopropanol ile ve daha sonra herhangi bir oksidi çıkarmak ve

yüzeyi daha da temizlemek için etenoik asit ile silinmiştir. Damıtılmış su ile yapılan son bir yıkama mevcut asitleri uzaklaştırılmıştır.

Metal bir substratın yüzeyindeki MAX fazları lazer sinterlemesinin mümkün olduğu ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu gösterilmiştir.

Ngo ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada, boşluk oluşumu, anizotropik davranış, bilgisayar tasarımının sınırlandırılması, katman katman görünümde ana işleme zorlukları, 3B baskı tekniklerinin kapsamlı incelenmesi ele alınmıştır. İlave üretim (AM) teknolojisinde baskı teknikleri ele alındığında FDM yöntemi, düşük maliyetli, basitlik ve yüksek hızlı işleme nedeniyle en yaygın 3B baskı tekniklerinden biridir. AM' nin başlıca sakıncaları, geleneksel yöntemlere kıyasla yüksek maliyet ve düşük mekanik performanstır. İlave üretimin faydalarına rağmen bu teknolojiyi çeşitli endüstrilerde benimsemek için fazlaca araştırma ve geliştirme gerekmektedir.

Leavy ve diğerleri (2003), yaptıkları çalışmada, SLS yönteminin sac metal şekillendirme de uygulanması konusunda deneysel araştırmanın sonuçlarını sunmuşlardır.

Sac levhaya SLS aletlerinin uygunluğuna bakmak için, S şeklinde bir Uchannel' in derin çekme işlemi uygulanır. Burada kullanılan malzeme 347 MPa verim gerilimli ASTM A622 çeliğidir. Bu çeliğe GERO' da termal sinterleme yapıldı. En yüksek sıcaklık 1070° C olarak ayarlandı ve bekleme süresi 3 saattir. Deneylerin hem kalıplardaki hem de yıldızlanmış kısımlardaki türetme işlemlerini değerlendirmek için SLS ve D2 çelik kalıplarını kullanarak geliştirmeye değer olduğuna dikkat çekmektedir. 200 partilik bir üretim süreci dikkate alındı. Parti sayısı arttıkça, üretilen parçaların malzeme aşınmasında oluşturulan eğri gradyanı artar. SLS tds' nin sac metal basmada uygunluğu teknolojik verimlilik açısından kesin bir değerlendirme yapılmamıştır.

Chen ve diğerleri (2018), yayınladıkları derlemede, seramiklerin 3 boyutlu (3B) baskısındaki en son gelişmeleri ve ilgili her tekniğin tarihsel kökenlerini ve evrimini ele almıştır.

Seramik şekillendirme teknikleri, uzun işlem süreleri, seramik parçaların işlenmesi aşırı sertliklerinden ve kırılmalıklarından dolayı son derece zor olma eğilimindedir. Seramik üretimi için özel olarak çok çeşitli 3B baskı teknikleri geliştirilmiştir. SL, DLP, TPP yöntemleri seramik üretimi için umut vermiştir. 3B seramik imalatında endüstriyel seri

üretim çok zor olabilir ve düşük genleşme katsayısı nedeniyle daha büyük boyutta seramik bileşenlerin üretilmesini nadir ve güç kılar.

Eyzat ve diğerleri (2019), yaptıkları bu çalışmada amaç, mikrosertlik, pürüzlülük, mikro-çekme testi ve SLM işlemi ile gerçekleştirilen titanyum alaşımları artık gerilmeler dağılımı üzerindeki bir yüzey mekanik post-etkisini incelemektir.

Bu çalışmada kullanılan toz, gaz atomizasyon işlemi ile üretilen Ti-6Al-4V alaşımlı tozdur. Bu toz kullanılarak numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü, Surtronic 3+ ekipmanı kullanılarak yüzey profilometresi ile ölçüldü. SLM numunelerinden ortalama sapmayı doğru hesaplamak için yedi yüzeyi üzerinden ölçüm yapıldı. Bu bağlamda pürüzlülük %80 oranında azaltılır ve 2µm değerine kadar düşürülür.

Bu çalışmada, 2 saat boyunca 400 °C'de ısı işlem ve mekanik işlem sonrası olmak üzere 2 tip işlem sonrası gerçekleştirildi. Mekanik işlem sonrası yüzey özelliklerinin güçlü bir şekilde değiştirildiği ve geliştirildiği gösterildi. Yapılan çekme numuneleri ve Vickers mikro sertliği ile mekanik özelliklerin %10 ila %15 arttığı gözlemlenmiştir.

Swain ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, iki adet Ti-6Al-4V örneği, DMLS makinası EOS M280 kullanılarak üç boyutlu bastırılmış. İki örnekte 12 mm (x) × 12 mm (y) × 65 mm (z) boyutlarında idi. Üretilen numunelere ısı işlem uygulanmıştır. Numuneler için ısı işlemi ana amacı, 3-B baskı sırasında geliştirilen RS'yi serbest bırakmaktır. Tüm RS ölçümleri, SINT teknoloji, İtalya tarafından sağlanan MTS-3000 RS ölçüm makinesi kullanılarak artımlı delik delme gerinim ölçer yöntemiyle gerçekleştirildi. Ardından delik delme işlemi yapıldı. Delme, 0,2 mm / dak derinlik besleme hızı ile 3,00,000 rpm' de dönen 1,8 mm uç frezesi yardımıyla 0,025 mm'lik adımlarla gerçekleştirildi. Delinmiş deliğin derinliği 2 mm idi.

Isıl işlemden önce bir numunenin xz tarafında ölçülen RS, z-yönü boyunca 3-B baskı sırasında büyük boyutlu RS' nin indüklendiğini gösterdi. Genel olarak, ısı sonrası işlem planı numunelerdeki büyük RS'yi ortadan kaldırmak için iyi çalıştı. Bu tür stres giderici planların ciddi bozulmalara ve çarpıklığa neden olmadan gerçek bileşenlere genişletilmesi gelecekteki bir zorluk olacaktır.

Çakır ve diğerleri (2012), yaptıkları çalışmada, iki farklı tür alüminyum alaşımı (Al6013 ve Al7075), 8 mm çapında malzemeleri farklı iki tip matkap (HSS ve Karbür),

ilerlemeleri farklı (0,2 mm/dev, 0,3 mm/dev, 0,4 mm/dev 0,5 mm/dev) ve dört farklı kesme hızıyla (35 m/dak, 50m/dak, 65 m/dak ve 80 m/dak) yaptıkları delik delme işlemleri neticesinde elde ettikleri veriler değerlendirildiğinde aşağıdaki bulgulara rastlanılmıştır:

Karbür matkap ucu ile Al 7075 malzemenin delindiğinde, 0,3mm/dev ilerleme oranı ile 35m/dak kesme hızı, 0.5 mm/dev ilerleme oranı ile 65 m/dak kesme hızı ve 0.5 mm/dev ilerleme oranı ile 80 m/dak kesme hızı gibi üç farklı kesme şartında takım kırılmıştır.

Kıvak ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada, süper alaşım Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız karbür matkap uçları ile deldikleri sırada, kesme parametrelerinin; yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplamalı karbür matkap uçları kullanılarak kuru kesme şartlarında incelendiğinde, CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırmıştır. Kesme parametreleri olarak farklı dört kesme hızı 10, 12,5, 15, 17,5 m/min ve farklı üç ilerleme 0,05, 0,075, 0,1 mm/rev göre inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek kesme hızı ve ilerlemeler ile birlikte takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Yağmur ve diğerleri (2013), yaptıkları çalışmada, deney kullanılan numune AISI 1050 çeliktir. Kesme parametreleri olarak farklı kesme hızları (60, 75, 90 ve 108 m/min) ve farklı ilerleme miktarlarında (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/rev) inceleme yapılmıştır. İki farklı delik tipi (ön delikli ve dolu numune) ve iki farklı özellikte (kaplamasız ve TiN/TiAlN/TiCN çok katmanlı kaplamalı) helisel rasgele karbür matkaplar kullanılmıştır. Önerilen uç açısı 140° olduğunda çalışmada kullanılan matkap uçlarının açısı da 140°'dir.

Kesme hızındaki artış da çaptan sapma üzerinde olumsuz etki yapmıştır bu yüzden diğer parametreler üzerinde de sapma miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

Gökçe ve Yavuz, (2013), yaptıkları çalışmada, AISI 1045 malzemesi ile matkap uç açısı (γ) 118°, matkap çapı 8,8 mm, helis açısı 35° ve kesme hızları 90, 120, 150 m/dk, ilerleme hızları 0,1, 0,2, 0,3 mm/devir, delme derinliği ise 23,5 mm parametrelerinde delik delme deneyleri yapmışlardır. Verilen kesme hızlarında, ilerleme hızının artması ile aksenal kuvvetlerde büyük oranda artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

En düşük ilerleme kuvvetleri, 0,1 mm/devir ilerleme hızında, en yüksek kuvvetler ise 0,3 mm/devir ilerleme hızında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, düşük ilerleme hızında kesici takımlar arasındaki kuvvet farklarının da az olduğu, ilerleme hızları arttıkça kuvvetler arasındaki farkların da arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, 90 m/dk. kesme hızında oluşan kuvvetler, birbirlerine yakın fakat kesme hızlarındaki artış ile kuvvetlerdeki farkların da 7 artmış olduğu deney sonucunda kaydedilmiştir.

Cui ve diğerleri (2023), yaptıkları çalışmada; çeliğin üzerindeki organik kaplamaların koruyuculuk hacmi ile dış deformasyon arasındaki etkileşimi değerlendirdi ve farklı organik kaplama malzemeleri için maksimum göz ardı edilebilir gerinim eşiğini belirledi.

Ahmadi ve diğerleri çelik yüzeyler üzerinde sıcak daldırma galvaniz kaplama ile oluşturulan çok fazlı Zn_{1.8}Al_{1.8}Mg alaşımı kaplamaların anizotropik mikroyapısal hasarı ve çatlaması üzerine çok kapsamlı bir araştırma gerçekleştirdi [a>13]. Mikro yapıyı ve mekanik özellikleriplastik deformasyona dayandırdıkları üç kriter belirlediler. 22> çinko kaplama, çinko kaplamalara daha derin bir bakış açısı sunuyor; çatlama mekanizması. Bu bulgular deformasyonun çinko kaplamanın korozyonu önleme yeteneğini azalttığını gösterdi. Yukarıda bahsedilen araştırmaya dayanarak, deformasyonun ve kalan iç gerilimin alt tabakanın elektrokimyasal aktivitesini önemli ölçüde etkilediği açıktır. Bu çalışma, deformasyonun ve artık iç gerilimin elektrokimyasal aktivite, PCC oluşum reaksiyon hızı ve HDG levhaların korozyon direnci üzerindeki etkisini sistematik olarak inceledi. Ana bulgular şunları içerir:

Artık çekme gerilimi HDG çelik sacları aktive edebilir ve dönüşüm banyosunda katodik reaksiyon hızının artmasına yol açabilir. Spesifik olarak, artık çekme gerilimi 261,8 MPa'dan az olduğunda PCC'nin kaplama kalınlığı ve korozyon direnci ile artık basınç gerilimi değeri arasında pozitif bir korelasyon vardır. Özellikle 221 MPa artık çekme geriliminde PCC kalınlığı ve Rp değeri sırasıyla 7,75 µm ve 908,8 Ω'da maksimum değerlerine ulaşır. Tersine, artık çekme gerilimi 261,8 MPa'yı aştığında, %3,5 NaCl sulu çözeltisi içindeki HDG çelik levhalar için katodik polarizasyon eğrisi eğimi 899 mV·dec⁻¹ değeri sırasıyla 5,66 µm ve 443 Ω'a önemli ölçüde düşer; bu değerler diğer PCC-'lerinkinden çok daha düşüktür. değişen artık çekme gerilimi dağılımlarına sahip kaplamalı HDG levhalar.p. Bu son derece yüksek katodik reaksiyon hızı, HDG tabakalarını kaplayan çok sayıda kristal çekirdeğin oluşmasına yol açar. Ayrıca, artık

basınç geriliminin konsantrasyonu, HDG çelik plakaların elektrokimyasal aktivitesini engelleyerek alt tabaka yüzeyinde kaplama oluşumu reaksiyonunu engeller. Bu, ortalama PCC kaplama filmi kalınlığının 5,36 μm ile 7,12 μm arasında olmasına ve HDG levhaların genel korozyon direncinin en yüksek sonucunun altında olmasına neden olur.

Bu bulgular, HDG çelik sacların işlenmesi ve korozyon önleyici işlemine ilişkin yeni araştırma bilgileri sunarak korozyon direncinin artmasına katkıda bulunuyor.

Cai ve diğerleri (2022), yaptıkları çalışmada, sıcak daldırma galvanizli düşük alüminyum Zn-1.5Al-1.1 Mg kaplamaların yüzeyinde yeni bir tür siyah nokta kusuru araştırıldı.

Zn-1,5Al-1,1 Mg kaplamaların yüzeyinde, yukarıdakilerden tamamen farklı olan, normal olmayan bir mikro yapının neden olduğu yeni bir tür siyah nokta kusuru bulunmuştur. Ötektik yapıların, düşük alüminyum içeriğindeki ZAM kaplamalarda oluşma olasılığı daha yüksektir. $i=9>$, iken Zn/MgZn₂ ikili ötektik (BE) ve Zn/MgZn₂ /Alternatif ötektiğin (TE) ZAM kaplamaların korozyon direncini arttırdığına inanılmaktadır. Ancak bu tür siyah noktaların oluşum mekanizması ve korozyon direncine etkisi bildirilmemiştir. Bu çalışma, sıcak daldırma galvanizli düşük alüminyum Zn-1.5Al-1.1 Mg kaplamaların yüzeyindeki bu yeni tür siyah nokta kusurlarını sonuçlandırdı, bunların oluşum mekanizmalarını açıkladı ve bir kontrol yöntemi fikri ortaya attı. Ayrıca bu kusurların NaCl çözeltisindeki elektrokimyasal korozyon davranışı üzerindeki etkisi araştırıldı.

Sıcak daldırma galvanizli düşük alüminyum Zn-1.5Al-1.1 Mg kaplamaların yüzeyindeki 1 μm çapındaki yeni tür siyah nokta kusurlarının karakterize edilmesiyle bunların Yerel sözde ötektik yapılar oluşturulduktan sonra normal bölge ile ışık yansımadaki fark. Katılaşma soğutma hızı 18 °C/s'ye kontrol edildiğinde bu tür kara nokta kusurları tamamen ortadan kaldırıldı.

Liu ve diğerleri (2010), yaptıkları çalışmada; kesitsel mikro yapı ve Fe-Al intermetalik bileşik gözlemi için numune hazırlama yöntemlerini araştırıp odaklanarak, iki çift fazlı çelik üzerindeki sürekli sıcak daldırma galvanizli çinko kaplamanın mikro yapısını araştırdılar. Mevcut çalışmadan çıkarılan sonuçlar;

Kesitsel mikro yapı ve Fe-Al intermetalik bileşiği en iyi yöntemle ve başarıyla sonuçlandı.

Her iki çelik için de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ çığ noktasında, hidrojenin %5'ten %40'a arttırılması kaplama kalınlığını önemli ölçüde azalttı; %5 hidrojeninde ise, çığlenme noktasının $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkarılmasının daha küçük bir değere sahip olduğu kanıtlandı.

Fe-Al intermetalik parçacığının boyutları tavlama atmosferine göre değişiyordu. Bunun nedeni, farklı yüzey oksit kaplamalarında alüminotermik indirgeme yoluyla çözünmüş Al'in farklı tüketim miktarına bağlı olabilir.

Fe-Al intermetalik bileşiklerin ve iğne benzeri Fe-Zn bileşiğinin bir arada bulunması, dolaylı olarak sıcak daldırma galvanizleme sırasında alüminotermik indirgemenin işe yaradığını kanıtlamıştır.

Chakraborty ve diğerleri (2013), yaptıkları çalışmada; fluxlama işleminin yerini başarıyla akımsız metal flaş kaplama ve ardından sıcak daldırma galvaniz kaplama aldı. Tüplerin sıvı çinkoya uzun süre daldırılması sırasında çinko-demir alaşım reaksiyonu da araştırıldı, incelendi ve fazlar belirlendi. Bu kaplanmış tüplerin korozyon ve kaplama yapışması gibi özellikleri de değerlendirdiler. Bu çalışma sonucunda;

Boru galvanizleme işleminde, fluxing işleminin yerine geçmenin fizibilitesi araştırılmış ve endüstriyel olarak daha uygun ve çevre dostu bir çözüm olan metal flaş kaplama önerilmiştir.

Flaş kaplamalı numuneler, endüstriyel hatlarda tüplerin mükemmel geçici korumasını sağlayan optimum kaplama koşullarında tüplerin iyi yüzey kaplamasını göstererek karakterize edilir.

Bu flaş kaplamalı boruların sıcak daldırma galvanizlemesi gerçekleştirilir ve karakterizasyon, yeterli kaplama kalınlığını ve gerekli fazların varlığını gösterir.

Bu tüplerin korozyon direnci tuz püskürtme testi ve elektrokimyasal testlerle analiz edilir. Korozyon davranışı diğer Zn kaplı yüzeylerle karşılaştırıldığında oldukça cesaret vericidir.

Kaplama yapışmasının max. düzeyde olduğu bulundu, çünkü müteakip yüklemenin uygulanmasından sonra kaplama soyulmadı.

Bu nedenle çalışma, endüstriyel boru galvanizleme prosesine yönelik umut verici sonuçlar göstermiştir.

Ürkmez Taşkın ve Ordu (2020), yaptıkları çalışmada; yüzey pürüzlülüğü ile temas ıslanabilirliği arasındaki ilişkiyi anlamaktır, farklı çelik alaşımları kullanılarak numuneler hazırlanmış ve karışık çözelti içerisinde farklı aşındırma sürelerinde incelenmiştir.

Korozyon ve buzlanma, metallerin kullanıldığı tüm mühendislik uygulamalarında önemli bir problemdir. Bu çalışmada süperhidrofobik çelik yüzeyler, STA modifikasyonu ile birlikte hızlı ve basit bir kimyasal mikro aşındırma yöntemiyle başarıyla üretildi. Numunelerin kimyasal bileşimleri ve yüzey pürüzlülükleri, yüzeylerin hidrofobikliği üzerinde önemli etkiye sahiptir ve bunlar yüzey temas açısını kontrol eden temel parametrelerdir. Aşındırma süresine göre yüzeylerin pürüzlülük değerleri değişmektedir. Farklı çelik bileşimleri için farklı aşındırma sürelerinde farklı yüzey pürüzlülük değerleri ve temas açıları elde edildi. Bu çalışmada en yüksek temas açısı CK40 numuneleri için 168,36°, CK22 numuneleri için 161,99°, St37 çelik numuneleri için 166,35° olarak sonuçlanmıştır. Süperhidrofobik çelik yüzeyler üretmek için mikro aşındırma kullanan bu yöntem kolay anlaşılabilir, düşük maliyetli ve kontrol edilebilir.

Bu çalışmanın sonuçları göz önüne alındığında, önerdiğimiz yöntem çeliklerin korozyon önleme ve buzlanma önleme uygulamalarına yönelik süperhidrofobik yüzeylerin üretiminde kullanılabilir. Endüstride temel yapı elemanı olarak kullanılan süperhidrofobik yüzeyli çelikler, korozyonun sebep olduğu malzeme kayıplarını azaltacak, servis ömrünü uzatacak, buz ve buz yükünden kaynaklanan sorunları en aza indirecektir.

Reimann ve diğerleri (2016), yaptıkları çalışmada; Lazer lehimleme için ana malzemesi üç farklı çinko kaplamaya sahip numuneler kullanıldı. Tüm kaplamalar, DIN EN 10346'ya göre en iyi yüzey kalitesine sahip olduğu teyit edildi, bu, tekdüze yüksek sınıf boya uygulamasının ön koşuludur.

Farklı çinko kaplamaların özellikleri, lazer lehimleme işlemlerinin sıcaklık dağılımını ve süreç dinamiklerini etkiledi. Sıcak daldırma galvanizli çeliğin lazerle sert lehimlenmesi sırasında dikişin kenar bölgesinden sıçrayan damlacıkların emisyonu,

çinkonun çözünmesi ve bu alanda aynı oranda buharlaşmanın sonucu olarak tanım yapıldı. Elektro galvanizli ve fosfatlı malzemenin daha düşük yansıması, temel malzemenin dikiş kenarlarında daha yüksek sıcaklıklarına neden olduğu ve erimiş dolgu metali ile ıslanmadan önce çinkonun buharlaşmasına yol açtığı belirlendi. Böylece çinko çözünmesi ve bunun sonucunda ortaya çıkan sıçrama oluşumu meydana gelmediği görülmüştür. Sıcak daldırma galvanizli substratlar üzerinde ek bir fosfat katmanının birikmesi, daha düşük bir yansımaya ve çinko katmanının lazer kaynaklı buharlaşmasına neden olmak için gerekli olan lazer gücünde bir azalmasına sebep oldu. Fosfatlı elektro galvanizli ve fosfatlı sıcak daldırma galvanizli çinko kaplamaların buharlaşma davranışı ve mikro yapısı önemli farklılıklar gösterse de lazerle sert lehimleme işlemi sırasında kenar bölgesinden herhangi bir sıçrama oluşumuna rastlanmadı. Böylece, optik özellikler ve sırasıyla ortaya çıkan sıcaklık dağılımı, çinko buharlaşması ve lazer sert lehimleme sırasında sıçramanın önlenmesi için çok önemli faktörler olduğu tanımlanmıştır.

Ploypech ve diğerleri (2012), yaptıkları çalışmada, dört noktadan bükülmeye maruz kalan galvaniz kaplamalı çinko-demir intermetalik katmanlarının kırılma direncinde, kaplama kalınlığının etkisinin ele alınması incelenmiştir. Çalışma, delta fazı katmanının zeta fazı katmanına göre azalmasının, kaplama katmanlarının çatlama direncini arttırdığını ortaya koymuştur.

Galvanizli çelikler, sıcak daldırma galvanizlemeyi takiben şekillendirme proseslerinde, örneğin çatı ve kanalizasyon borusu üretimleri için oluklu galvanizli çelik sacların deformasyona maruz kalması nedeniyle, bunların önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu işlemlerde, galvanizli kaplamalar, ısıl gerilim nedeniyle δ fazında başlatılan iç çatlak oluşumuna ve uygulanan yükler nedeniyle metaller arası katmanlarda çatlakların yayılmasına karşı oldukça hassastır. Çinko-demir intermetalik katmanlarının kırılma direncine ilişkin kalınlıklar; Dört noktadan bükülmeye maruz kalan galvaniz kaplamalar. Tipik galvanizli kaplamaların çeşitli sıcak daldırma süreleri boyunca faz ve kalınlık gelişimlerine ilişkin deneysel verilerin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmesiyle, toplam intermetalik kalınlık (h) olduğunda kritik bükülme açısının ve dolayısıyla kırılma direncinin azaldığı bulunmuştur. h azalma h 'nin çatlak direncinin iyileştirilmesinden temel olarak sorumlu olduğu belirlendi. Ayrıca η

katmanının (h) intermetalik katmanlarda çatlak büyümesinin yavaşlatılmasına yardımcı olduğu ortaya konulmuştur.



6. MATERYAL VE METOD

6.1. EOS Ti64 Tozu

Bu tezde, üretimi gerçekleştirilen parçada, EOS Ti64 malzemesinin toz hali kullanılmıştır. Şekil 6.1.1’de Ti tozunun paketli hali ve açık toz hali gösterilmektedir.

EOS Titanium Ti64, Ti6Al4V alaşımıdır. Bu malzeme üç boyutlu modellemede yaygın kullanılan ve sıklıkla tercih edilen malzemelerden bir tanesidir. Mekanik özelliklerinin gelişmiş olması, düşük özgül ağırlığa sahip olması ve etkili korozyon direncine sahip olmasından dolayı tercih edilen hafif bir alaşımdır. EOS Ti64 tozu ile üretimi gerçekleştirilen parçalar, ısıtılma işlemi uygulandıklarında bile işlenebilir, delinebilir ve parlatılabilir. Ti64 tozu herhangi bir ışına maruz kalmaz ise tekrar kullanılabilir. Sahip olduğu bu özellikler neticesinde EOS Ti64 tozu metal yazıcılarının sıklıkla kullanılan bir malzeme haline gelmiştir.

EOS Ti64 tozunun teknik özellikleri Çizelge 6.1’de Ti64 malzemesinin kimyasal bileşenleri de Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

Uygulama alanları;

- Fonksiyonel prototiplerin ve yedek parçaların doğrudan üretimi,
- Yüksek mekanik özellikler ile düşük özgül ağırlık kombinasyonu gerektiren parçalar,
- Biyomedikal implantlar,
- Bazı motor bileşenleri üretiminde kullanılmaktadır.

Çizelge 6.1. EOS Ti64 tozunun teknik özellikleri

Parça yoğunluğu	4.41 g/cm ³
İşlem sonrası yüzey pürüzlülüğü	R _a 5-9 µm; R _z 20-50 µm
Gerilme kuvveti (ısıl işlem uygulanmış)	1070 ± 80 MPa
Akma dayanımı	1010 ± 80 Mpa
Kopma uzaması	14 ± 4 %
Vickers sertliği	n.a.
Max. Parçacık boyutu (DIN ISO 13320)	39 ± 3 µm
Tabaka kalınlığı	30 µm



Şekil 6.1. EOS firması tarafından üretilmiş olan Ti64 tozunun paketli ve açık görünümü

Çizelge 6.2. EOS Ti64 tozunun kimyasal bileşenleri

Element	Maksimum %
Al	6.50
V	4.50
O	0.150
N	0.040
C	0.080
H	0.012

Fe	0.250
Y	0.005
Diğer elementlerin toplamı	0.40

6.2. DLMS Tezgâhı Çalışma Prensibi

Bu çalışmada numune üretiminde kullanılan baskı tekniği DMLS' dir (Bölüm 2.3.1.'de bahsedilmiştir.) Bu bölümde anlatılan konu ise EOS M280 DMLS tezgâhının çalışma prensibi olacaktır. Çalışmada kullanılan tezgâhın en önemli bölümleri lazer ünitesi, lazer soğutma ünitesi, galvano optik tarayıcı, toz serme ünitesi ve kontrollerin gerçekleştiği masaüstü bir bilgisayardır.

DMLS tezgâhının teknik özellikleri ise Çizelge 6.2.' de gösterilmektedir.

DMLS tezgâhında hassas toz serme ve imalat platform kaldırma ünitesi desteği ile metal tozları her bir katmana eşit ve düzgün serilmektedir. Platform ısıtma ünitesi metal tozu serilen ilk katmanın platforma iyi bir şekilde kaynak edilebilmesini sağlamaktadır. Platform ısıtma ünitesi kullanacak olan sıcaklığı metal toza göre ayarlamaktadır.

DLMS tezgâhının cihaz yazılımındaki imalat parametrelerinde değişiklik yaparak farklı mekanik özelliklere sahip ve değişik endüstriyel parçalar imal etmek mümkündür.



Şekil 6.2. İmalat için hazırlanan makine içerisinde imalat odasında ilk katman (30 µm) ve DLMS ile imal edilen numunelerin bitmiş görünümü

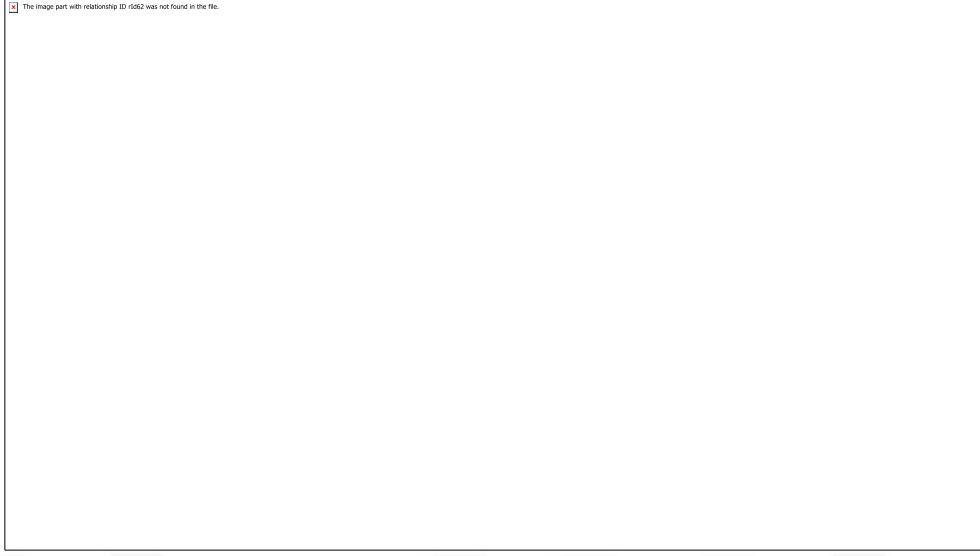
Çizelge 6.3. EOS M280 DMLS tezgâhının teknik özellikleri

İnşa kapasitesi	250 × 250 × 385 mm. (x,y,z)
Lazer tipi ve gücü	Yb-Fiber Lazer, 200W
Lazer soğutma sistemi	2-20 cm 3/h
İnşa hızı (malzemeye bağlı)	2-20 cm 3/h
Katman kalınlığı (malzemeye bağlı)	30 µm
Tarama hızı	7 m/s' e kadar çıkabilen
Odak çapı	70 µm
İmalat ortam gaz desteği	3 çeşit gaz bağlantısı
İmalat ortam gaz tüketimi	10 m ³ /h
Çalışma koşulları	15-45 °C

Şekil 6.3.'de üretilen malzemelerin görselleri yer almaktadır.



Şekil 6.3. İmalatı yapılan numunenin tezgâhtan çıktıktan sonraki görüntüsü



Şekil 6.4. İmal edilen numunenin görseli

6.3. Korozyon Testi Cihazı Çalışma Prensibi

Bu çalışmada üretilen numuneler galvaniz kaplandıktan sonra korozyon testine (tuz sisi testi) tabi tutulmuştur. Korozyon testi, kaplamaların özelliklerini karakterize etmek için, malzemenin hizmet ömrü süresince kalite ve malzeme özelliklerinin devam etmesinin en önemli anahtarlarından biridir. Şekil 6.5.'te görseli verilen test cihazının çalıştırılması aşamalar halinde bu bölümde yer almaktadır.



Şekil 6.5. Korozyon test makinası (Uzman kataforez kaplama)

Cihaz çalıştırılmadan önce kontrol edilmesi ve kullanılan malzemenin uygun şartlarda olması gerekmektedir. Testin yapılabilmesi için makinanın aşağıdaki parametrelerinin kontrol edilmesi ve verilen değerlere getirilmesi gerekmektedir. Bun parametreler;

- Kullanılan hava basıncı 0,8-1,6 bar arasında olmalıdır. Genellikle 1,5 bar kullanımı uygundur.
- Satüratördeki suyun sıcaklığı 47 °C (± 2 °C) olmalıdır.
- Hidrofor kontrol edilir: 2,5-4 bar arasında olmalıdır.
- Bu çalışma parametrelerinde suyun akış göstergesi 8-16 arasında olmalıdır.
- %5'lik tuz çözeltisi kontrol edilir. (Anhidr haldeki Sodyum Klorür kullanılmalıdır)
- 100 lt tuz çözeltisi için: 95 lt saf su 5 kg iyotsuz tuz kullanılır.
- Saf suyun iletkenliği: 0,5-20 $\mu\text{s} / \text{cm}$
- Saf suyun pH değeri: 6,0-7,5 arasında olmalıdır.

Tuz sisi çözeltisi yoğunluk tayini:

Tuz çözeltisinin yoğunluğu: 1025-1040 Kg / m³ [23 °C (±2 °C)] olmalıdır.

100 ml'lik pikometre içinin tamamen kuruması için etüvde kurutulur. Kurutulmuş pikometrenin darası alınır (M1). Pikometre hazırlanan ve min. 6 saat bekletilen tuz sisi çözeltisi ile doldurulur. Terazide tartılır (M2).

Tuz sisi çözeltisinin yoğunluğu: (M2-M1) / 100

Tuz sisi çözeltisinin yoğunluk tayini için alternatif olarak dansimetre kullanılabilir. Kullanılan dansimetre aralığı 1000-1100 Kg / m³ olmalıdır.

Toplama Havuzu: Bir mezüre çapı 10 cm'lik huni konulup kabinin içerisine 3 farklı yere koyulur ve tuzlu suyun saatteki toplanma miktarına bakılır. 1 ml / h-2 / h arasında tutulmalıdır.

Yoğun Renk Testi Yapılışı:

Referans plaka yağının temizlenmesi aşağıdaki yöntemle yapılır.

1. Asetonla bir kez kullanılarak ilk yağ alma işlemidir.
2. Aşağıdaki bileşim ile bir yıkama kabininde ultrasonik yağ alma işlemi uygulanır.
 - Sodyum Hidrojen Karbonat (NaHCO₃) 15g / lt ± 2g / lt
 - Sodyum Karbonat (Na₂CO₃) 10g / lt ± 2g / lt
 - Trisodyum Fosfat (Na₃PO₄) 20g / lt ± 2g / lt
 - Boraks (Na₂B₄O₇.10H₂O) 10g / lt ± 2g / lt

Bu çözelti 3 lt 'ye göre hazırlanıyor. Ultrasonik yıkama cihazına konarak plakalar içerisine daldırılır ve 45 °C (±2 °C)'de 7 ± 1 dakikada yıkanır. Bu yıkama banyosu litre başına 5 plaka için kullanılabilir.

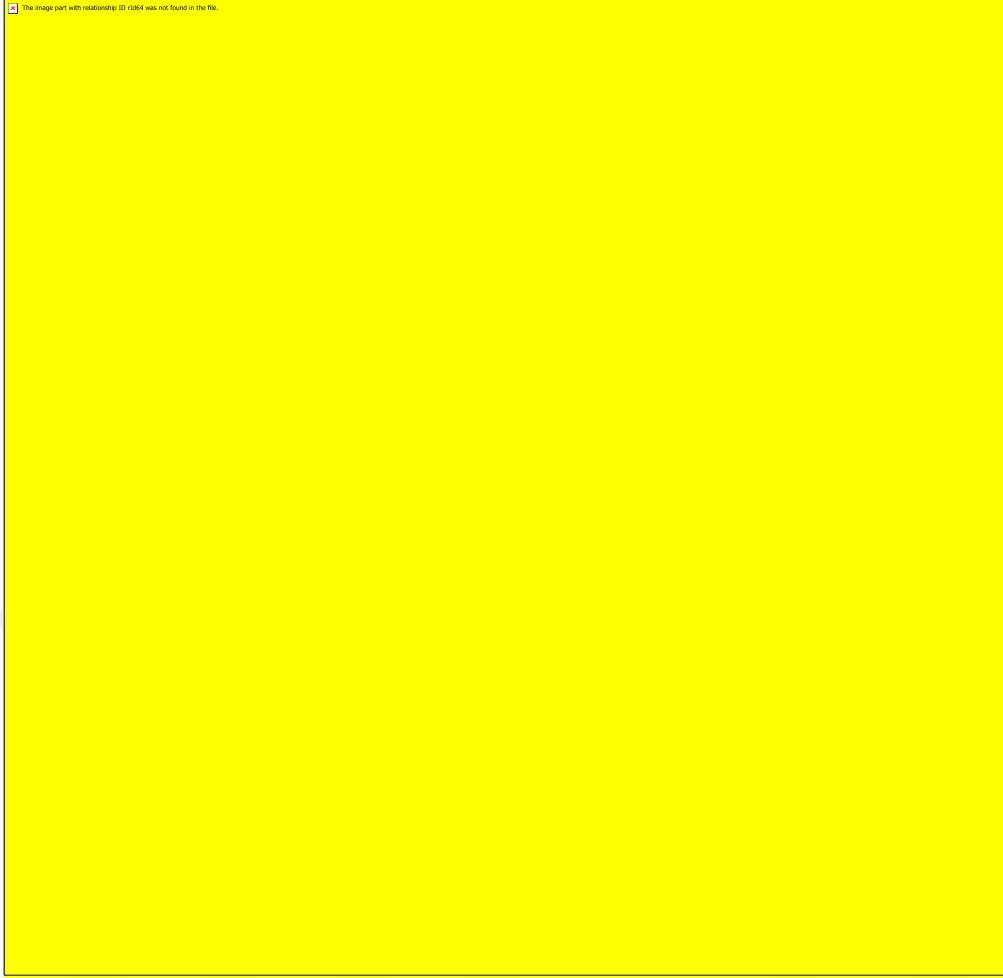
6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Katı yüzeylerin, yüzey karakteristikleri hakkında bilgi sahibi olmak için SEM mikroskobu yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroskobun optik bölgesinde bulunan elektron tabancası; elektron demetinin ana kaynağıdır, elektronları mikroskop içerisindeki malzemeye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot

plakası, elektron demeti toplamanın yanı sıra elektron demeti iletiminde kullandığı kondansatör ve objektif mercekleri, demet çapını sınırlamakta kullanılan apertürler, malzeme yüzey bölgesi taraması için demeti uygun biçimde saptıran tarama bobinlerine sahiptir.

Optik bölge alt tabandan malzeme alanına açılır. Burada bulunan x-y-z'de hareket kabiliyeti olan numune plakası, demet-numune etkileşimi sonucu meydana gelen farklı sinyallere duyarlı algılayıcılar bulunmaktadır. SEM mikroskobu elektronik donanımı Flaman akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimini istikrarlı bir biçimde tutarken, algıcılardan gelen sinyalleri ileterek numunenin farklı özelliklerinin ortaya çıktığı görüntüler oluşturur.

Görüntü oluşabilmesi için katı malzemenin yüzeyine, hassas bir şekilde odaklanan yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektron demeti, malzemenin neredeyse tüm yüzeyinde taratılır. Taratma esnasında elektron ve numune atomları arasında etkileşim oluşmaktadır. Bu etkileşim numune yüzeyinin topografisi, kompozisyonu ve diğer özellikleri hakkında bilgiler içeren sinyaller üretilmektedir. Üretilen sinyaller, katot ışınları tüpünün ekranına yansıtılır ve görüntü oluşumu gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 6.6. SEM mikroskobunun şematik gösterimi (Açıkgöz, 2018)

SEM mikroskobunda oluşan görüntüler; malzemenin, elektron demeti ile etkileşiminden meydana gelen ışımlar veya malzeme üzerinden geri yansıyan elektronların sayımları ile meydana gelir. Demetle malzeme yüzeyine gelen elektronlar malzemedeki atomların elektrostatik alanlarıyla etkileşebilir veya bu atomların yörüngelerindeki elektronlarla çarpışabilirler. Elektrostatik alanla olan etkileşimde yön değişimi gerçekleşebilir. Bu durumda elektron hızında bir değişim olmayacağından elektron enerjisi aynı kalır. Bu tür elektronların bir kısmı malzeme yüzeyinden tekrar geri dönebilirler. Enerjileri demetteki elektronlarınkine yakın olan bu elektronlara geri saçılan elektronlar denmektedir. Numunedeki atomların atom numaraları ne kadar büyük olursa aynı oranda geri saçılan elektron elde etmek mümkün hale gelir. Geri saçılan elektronların sinyallerinin şiddeti güçlü bir biçimde numunenin atom numarasıyla ilişkili olduğundan, geri saçılan elektronlar numunedeki farklı elementlerin dağılımı hakkında bize bilgi vermektedir.

Demet elektronları atom yörüngelerinde bulunan elektronlarla da çarpışabilirler. Dış yörüngelerdeki elektronların çarpışma ile atomlarından sökülebilmeleri için çok az da olsa bir enerjinin olması yeterlidir. Çarpışma ile atomlarından ayrılan dış yörünge elektronlarına ikincil elektronlar ismi verilmektedir. İkincil elektronlar düşük enerjili elektron özelliği taşımaktadır. Detektöre 100-300 V arasında bir pozitif voltaj uygulanması ile çok kolay bir şekilde toplanabilirler. İkincil elektron görüntüsü alabilen SEM mikroskobu, 1 nm' nin altında detay verebilen, çok yüksek çözünürlüklü yüzey görüntüleri üretebilmektedir (Açıkgöz, 2018).



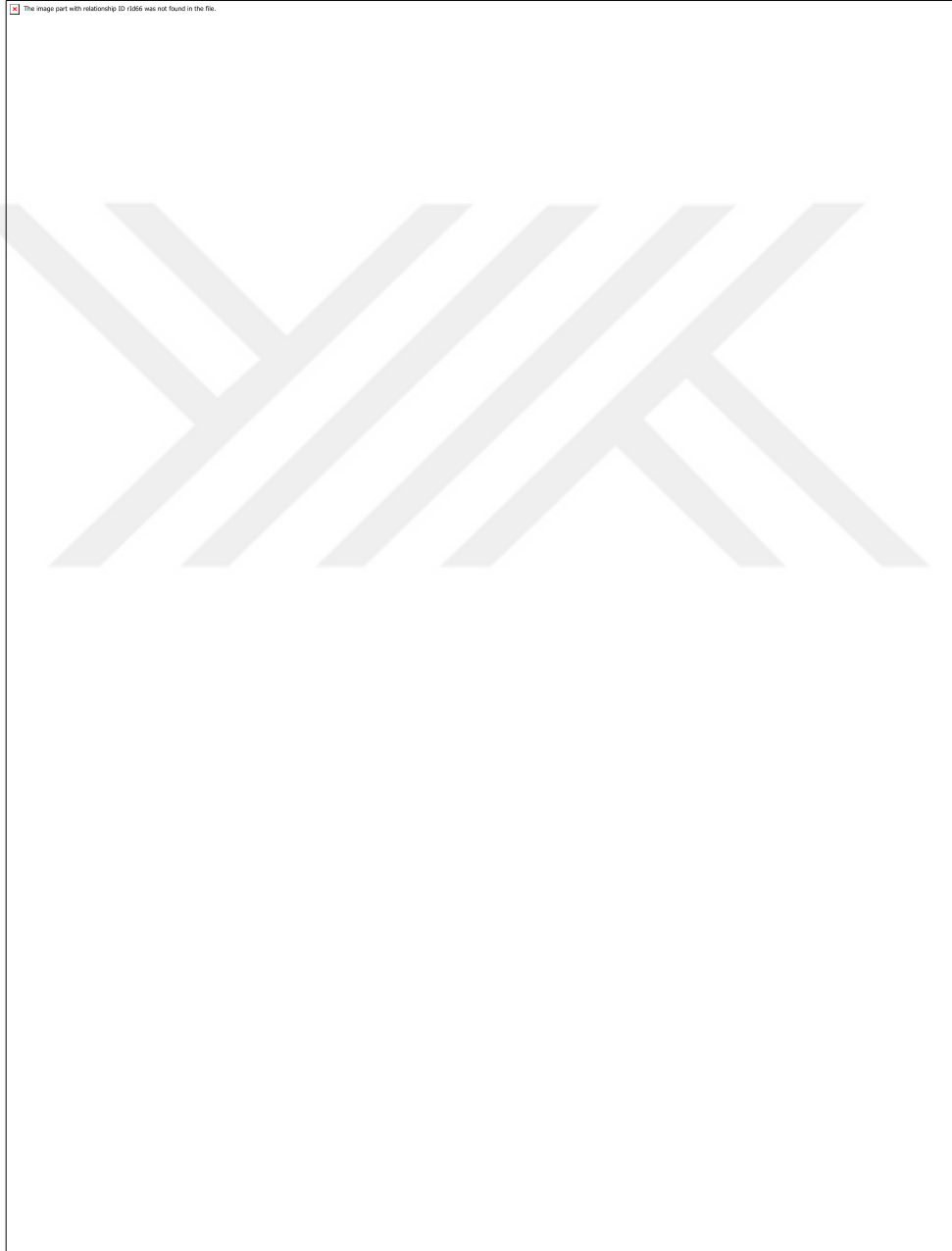
Şekil 6.7. SEM mikroskobu

İç yörüngedeki elektronlarla demet elektronlarının çarpışması neticesinde bu yörüngelerdeki elektronlar yerlerinden ayrılabilir. Bu şekilde iç yörüngelerde meydana gelen boşluklar dış yörüngelerdeki elektronlardan bir diğeri tarafından yerine geçtiğinde ise, iki konum arasındaki enerji farkı X-ışını olarak yayımlanmaktadır. Elektron ışını numunenin iç yörüngesindeki elektronlarından birini ayırdığı zaman daha yüksek enerjili elektronlardan birisinin yörüngeyi doldurmasıyla X-ışınları yayımlanır. Bu tipik X-ışınları, kompozisyonu belirlemek ve numunedeki elementlerin niceliklerini ölçmekte kullanılmaktadır (Açıkgöz, 2018).

6.4.1. EDS görüntü alma

Numune üzerinde EDS ünitesi yardımıyla ne gibi analizler yapılabileceği (nokta, seçilmiş alan ve çizgi analizleri) numune üzerinde gösterilir.

EDS alınan numunelerde malzeme üzerindeki dağılmış halde bulunan bütün elementleri göstermektedir. Elementlerin dağılışı biçimlerini hangi bölgelerde yoğunlukta, hangi elementlerin bulunduğu hakkında bize bilgi verir.

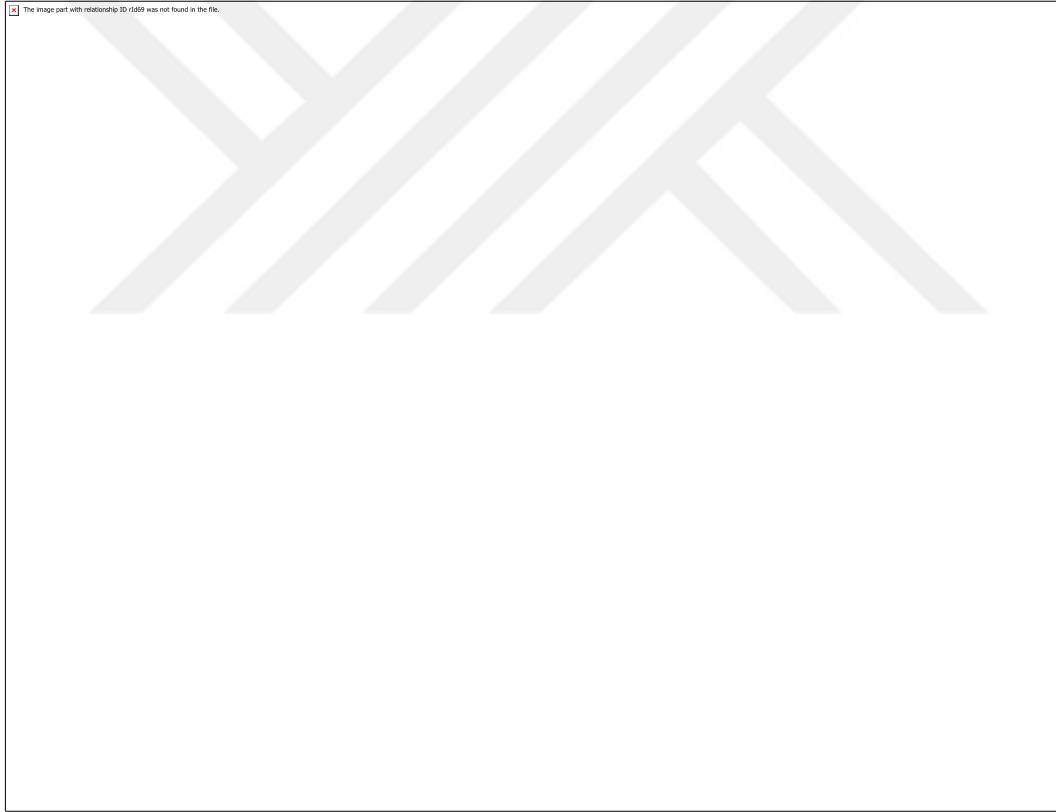


Şekil 6.8. Bir malzeme üzerinden alınmış bir EDS görüntüsü

7. ARAşTIRMA VE BULGULARI

Yapılan bu çalışmada DLMS yöntemi ile üretilmiş olan freze akısına 10 dk ve 30 dk süreler ile galvaniz kaplama uygulanmıştır.

Parçanın orijinal yapısı gözenekli olduğundan dolayı kaplama, parçanın en ince tanelerine bile nüfuz ettiği gözlemlendi. Parçanın görseli şekil 7.1.1’de verilmiştir. Parçanın kaplama raporlarından da anlaşılacağı üzere parçaya 10 dk ve 30 dk sürelerle uygulanan kaplama parçanın yapısından dolayı yaklaşık aynı sonuçları verdiği gösterilmiştir. şekil 7.1.2 ve şekil 7.1.3’de kaplama raporları verilmiştir.



şekil 7.1. DLMS yöntemi ile üretilmiş freze akısı



Şekil 7.2. 10 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu

Çizelge 7.1. 10 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu

N= 1 Zn 1 =	28.9 μm
N= 2 Zn 1 =	35.0 μm
N= 3 Zn 1 =	30.9 μm
N= 4 Zn 1 =	31.1 μm
N= 5 Zn 1 =	33.0 μm
Mean	32.36 μm
Standart Sapma	2.811 μm
C.O.V.	(%) 7.97
Ölçü Aldığı Mesafe	7.11 μm
Okunan Değer Sayısı	8
Min. Değer	28.9 μm
Max. Değer	35.0 μm
Ölçüm Süresi	30 sn



Şekil 7.2. 30 dk kaplama yapılan parçanın kaplama raporu

Çizelge 7.2.
kaplama
parçanın
raporu

30 dk
yapılan
kaplama

N = 1 Zn 1 =	36.1 μm
N = 2 Zn 1 =	38.0 μm
N = 3 Zn 1 =	30.9 μm
N = 4 Zn 1 =	34.3 μm
N = 5 Zn 1 =	37.1 μm
Mean	35.27 μm
Standart Sapma	2.811 μm
C.O.V.	(%) 7.97
Ölçü Aldığı Mesafe	7.11 μm
Okunan Değer Sayısı	8
Min. Değer	30.9 μm
Max. Değer	38.0 μm
Ölçüm Süresi	30 sn

7.2 Korozyon Testi (Tuz Testi)

Parçalar galvaniz kaplamadan sonra korozyona ne kadar dayanıklı olduğunu görmek adına Bölüm 6.3'te anlatılan korozyon testine tabi tutulmuştur.

Tuzsisi testinde WEISS SC1000 test kabini kullanılmıştır. Test kabiniindeki yoğunluk derecesi 2-3 arasındadır. Bu çalışmada yapılan tuz sisi testi ASTM'nin belirlediği standarda (B117) uygun parametrelerde yapılmıştır.

Proseste Tuz testi makinasının olması gereken parametre değerleri, her gün kontrol edilmektedir fakat parçalarda ölçümler haftada bir kez yapılmaktadır. Bütün parçalar için uygulanan max. test süresi 1000 saat olarak belirlenmiştir. Test içerisinde olan parçaların kontrollerinde hangi parametrelere dikkat edildiği Şekil 7.3' te verilmiştir.

Tuz Sisi Kabini İzleme Raporu												
	HAVA	TEST KABİNİ							TUZ ÇÖZELTİSİ			
Tarih	Basınç 1,0-2,0 Bar	Akış Hızı 8-16 (x100cm ³ /h ya da 08-1,6 L/H)	Isı 33-37°C	Nemlendirici Kulesi 48-52 °C	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	Ort.	Kons. %5±0,5	PH 6.5-7.2	Yoğunluk 1025-1040 kg/m ³	Açıklama

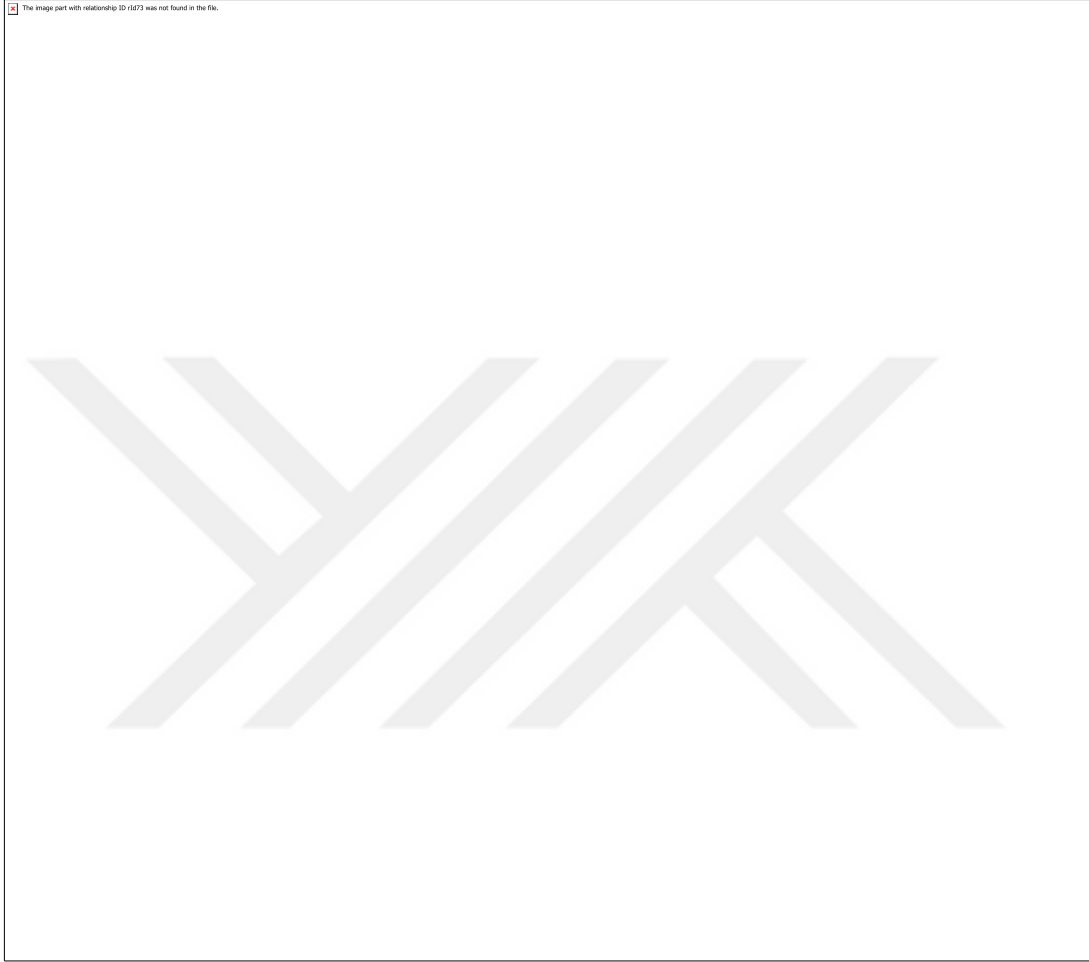
Şekil 7.3. Tuz testi makinasının parametre kontrolü

Bu parametrelerin uygunluğu kontrol edildikten sonra hafta da bir kez olmak üzere parçaların görsel korozyon kontrolleri gerçekleştir.

Parçalar 1000 saat tuz testine maruz bırakılmıştır. Oluşan korozyon gözlemleri saat aralıkları ile aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 24 saat sonunda parçanın üst çerçevesinde (Şekil 7.2.2'de gösterilmiştir.) beyaz pas görülmeye başlanmıştır.
- 144. Saatte 10 dk kaplanan parçanın delik içinde kırmızı pas başlangıcına rastlanmıştır.
- 312. Saatte parça yüzeylerinde herhangi bir kırmızı pasa rastlanmamıştır.

- 720. Saatte delik içi kırmızı pas gözle görülür düzeyde artmıştır.
- 1000. Saatte parçalarda 10 dk kaplanan parçanın yüzeyinde küçük nokta şeklinde pas oluşumu vardır. SEM mikroskobu ile bakıldığında görülmüştür. Şekil 7.3.3’de görseli verilmiştir.



Şekil 7.4. 144. saatte kontrolleri yapılan parçalar (Soldaki görseli 10 dk kaplama, sağdaki görsel 30 dk kaplanan parçalara aittir.)



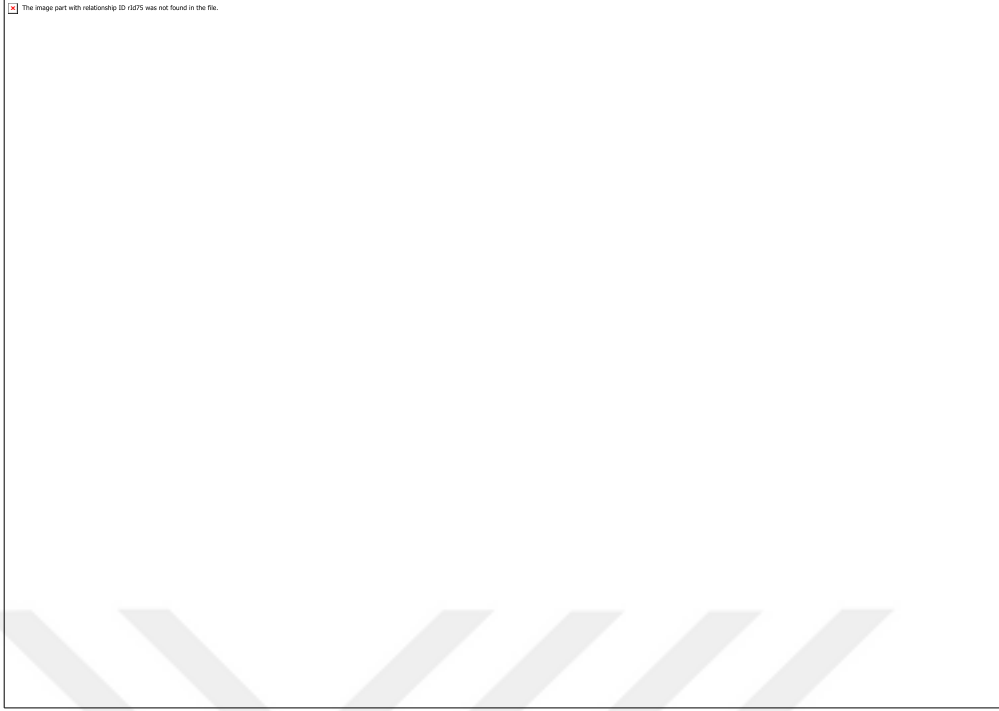
Şekil 7.5. 1000. saat sonunda parçada oluşan korozyon (Soldaki görsel 30 dk kaplama, sağdaki görsel 10 dk kaplanan parçalara aittir.)

7.3. SEM Görüntüleri

Parçalara mikroskop ile bakıldığında yüzey kısımlarında korozyon tabakasına benzer yapılar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu yapıların korozyon olup olmadığına karar vermek için parçalar üzerinde SEM-EDS görüntüsü alınmıştır. SEM görüntülerinin elde edilmesi için ZEISS GeminiSEM 300 marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 6.4.2). Şekil 7.3.1 ve Şekil 7.3.2’de 10dk ve 30dk süreler ile kaplanmış malzemelere ait mikroskop görseller yer almaktadır.

10 dk galvaniz kaplamaya maruz kalan parçanın yüzeyinde göz ile görünmeyen noktasal oluşumlara rastlandı. Şekil 7.3.3’de görseli verilmiştir.

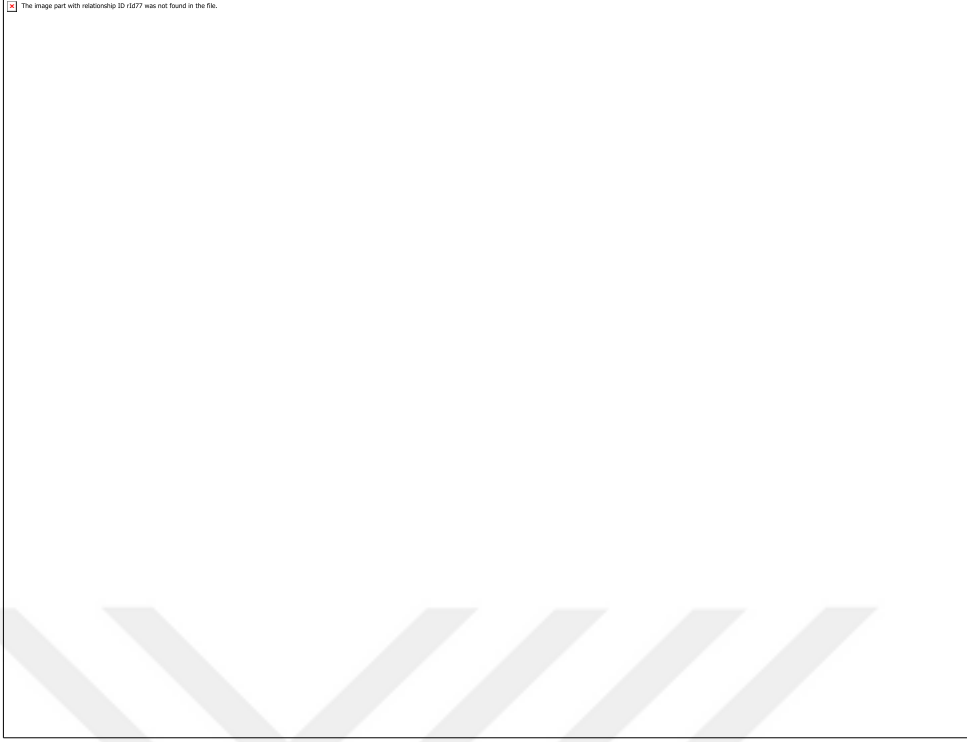
Parça üzerinde noktasal oluşumların korozyon olup olmadığından emin olmak için numune üzerinde noktasal EDS görüntüsü ve EDS haritalama işlemleri uygulandı.



Şekil 7.6. 10 dk kaplanan parçaya ait mikroskop görüntüsü

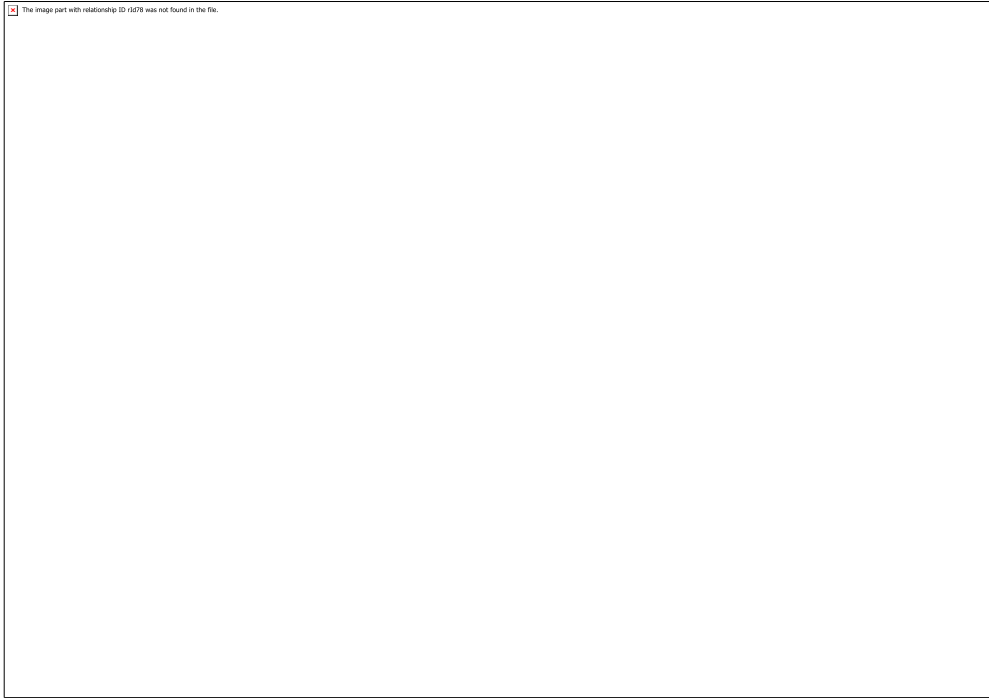


Şekil 7.7. 30 dk kaplanan parçaya ait mikroskop görüntüsü

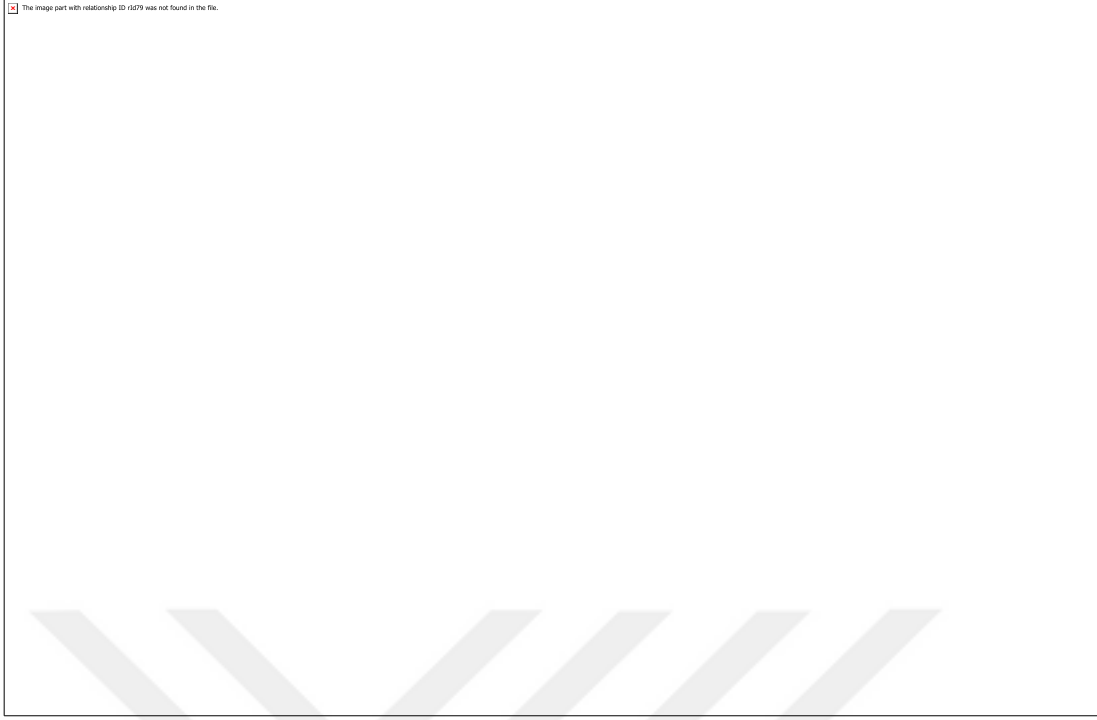


Şekil 7.8. 10 dk kaplanan parçanın kenar yüzeyinde oluşan noktasal oluşum

Şekil 7.9, Şekil 7.10'da parçaların SEM görüntüleri yer almaktadır.

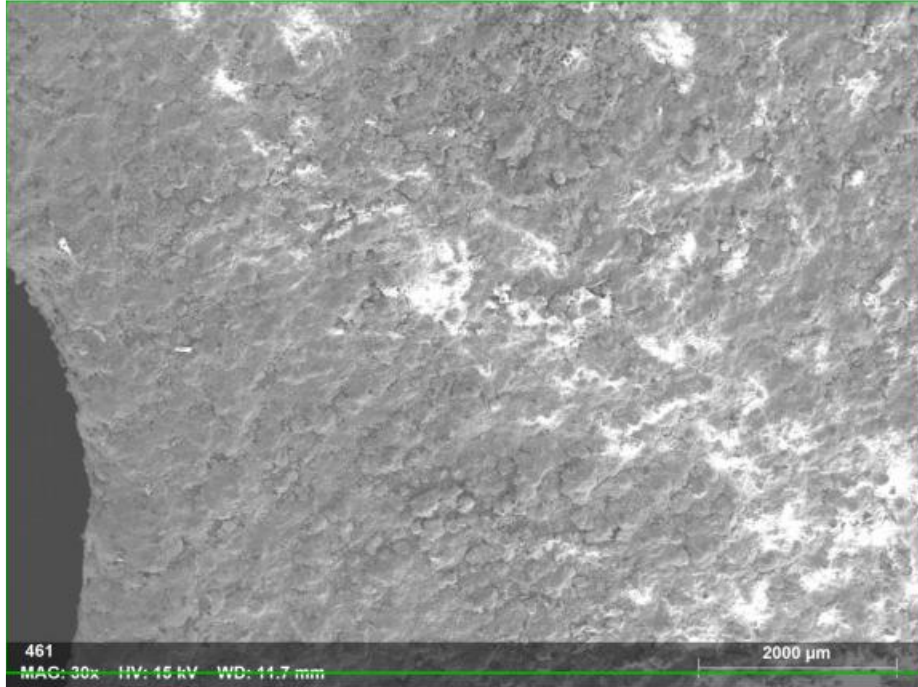


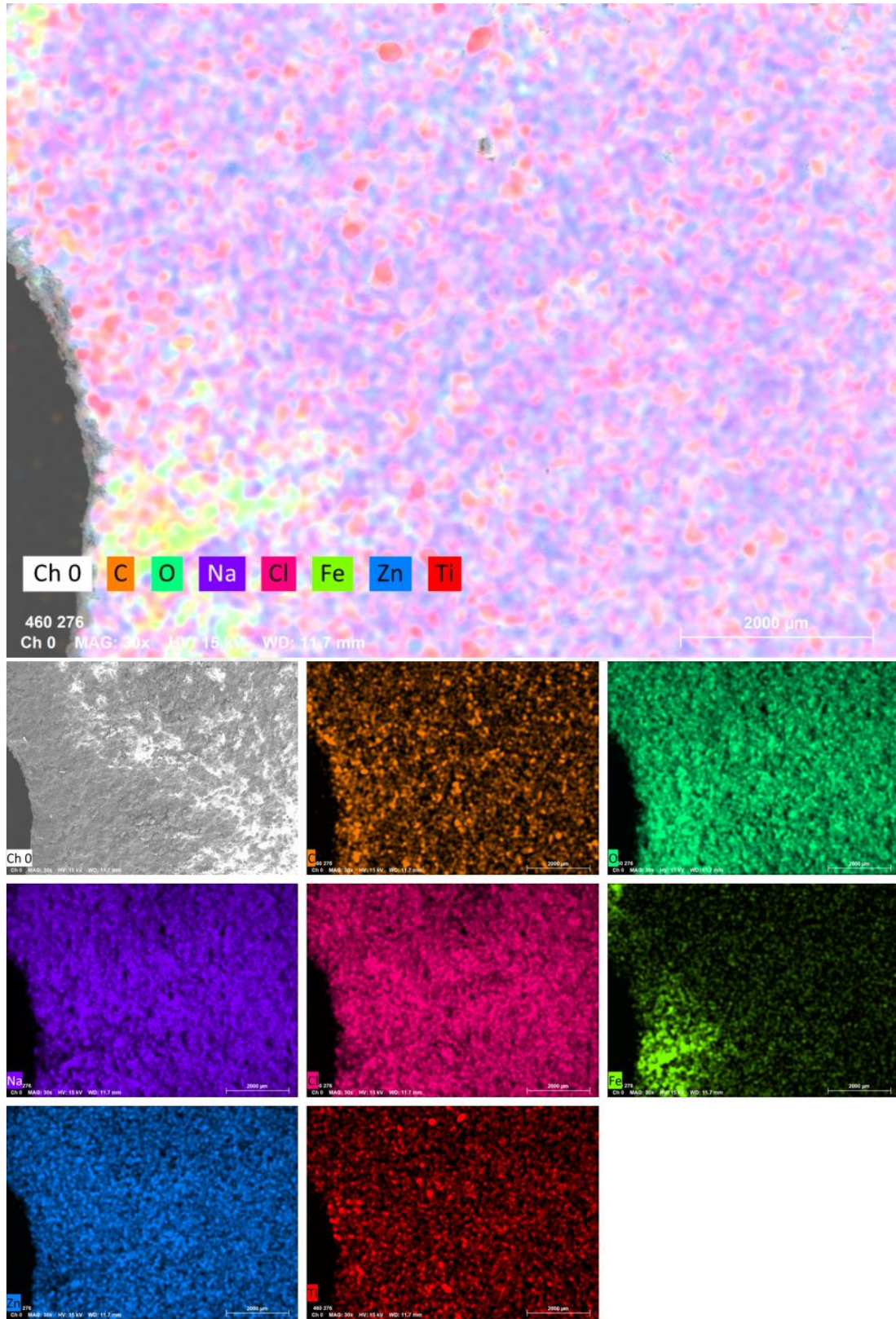
Şekil 7.9. 30 dk. kaplanan parçaya ait SEM görüntüsü



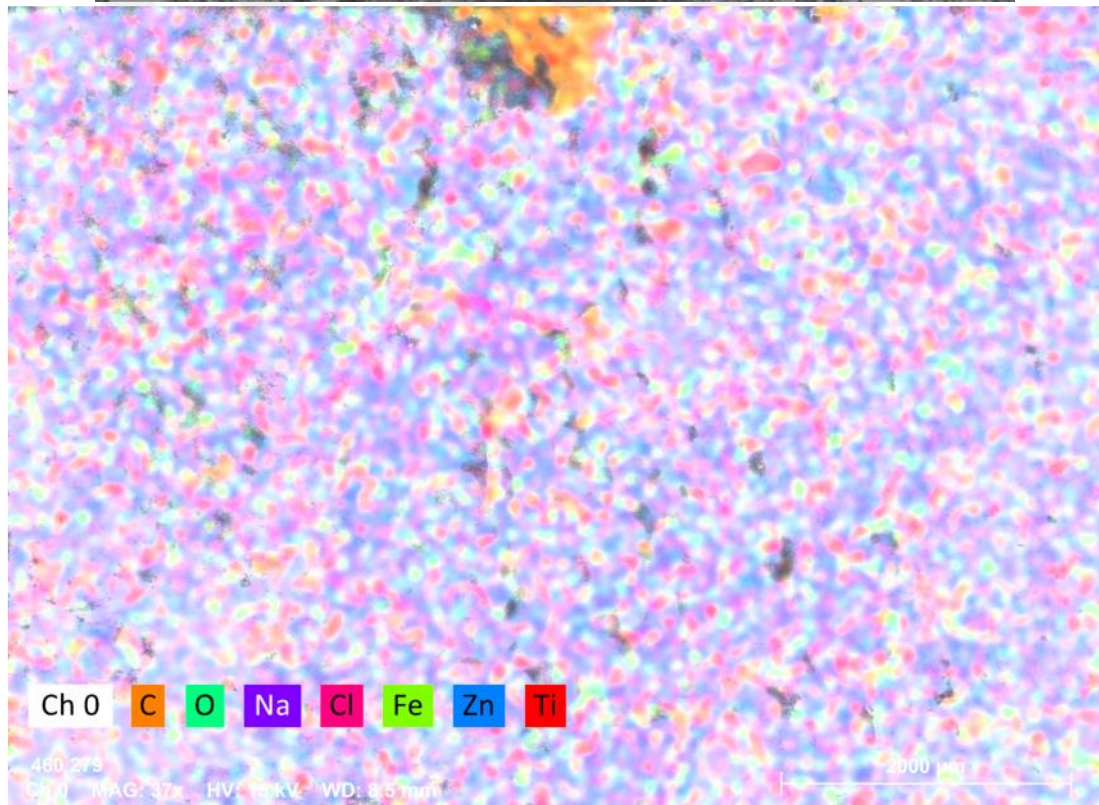
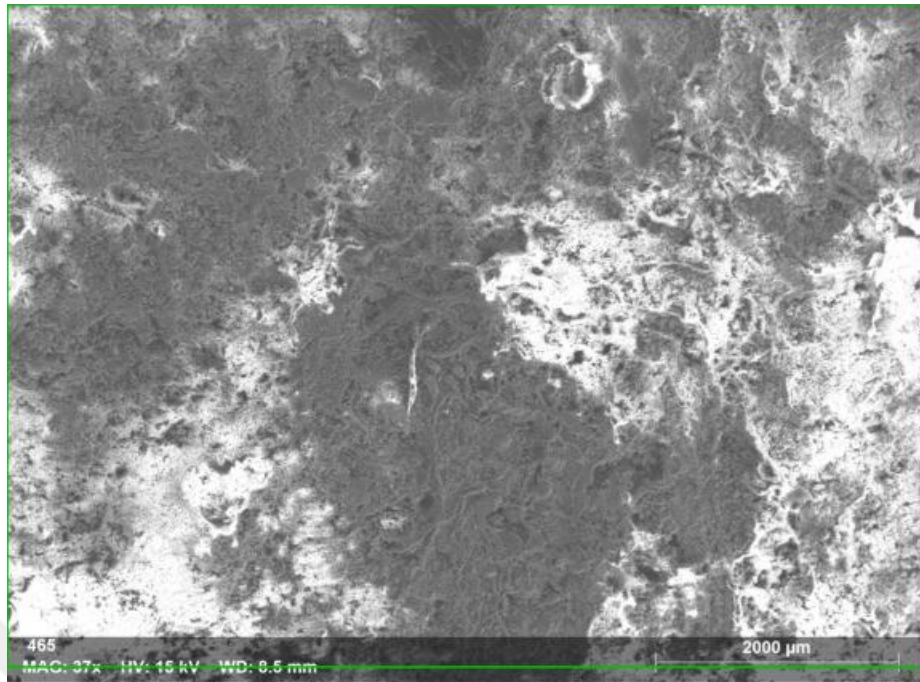
Şekil 7.10. 10 dk. kaplanan parçaya ait SEM görüntüsü

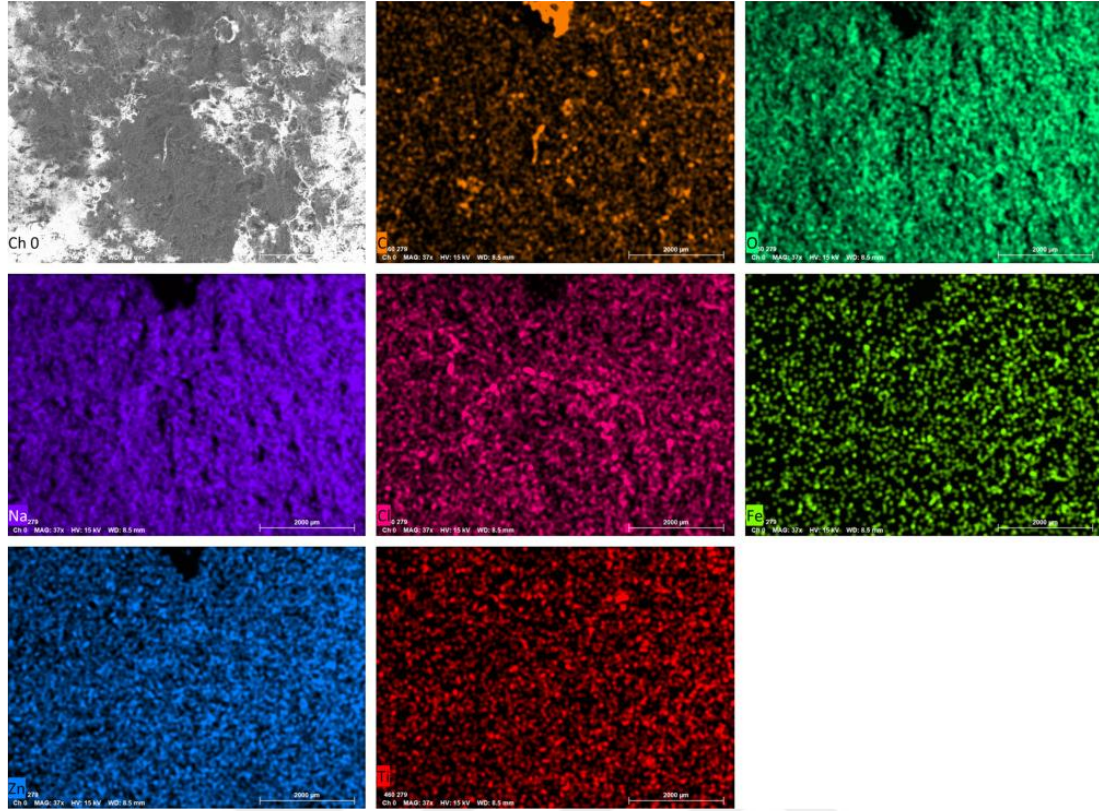
Parçalara ait EDS raporları aşağıda gösterilmektedir.





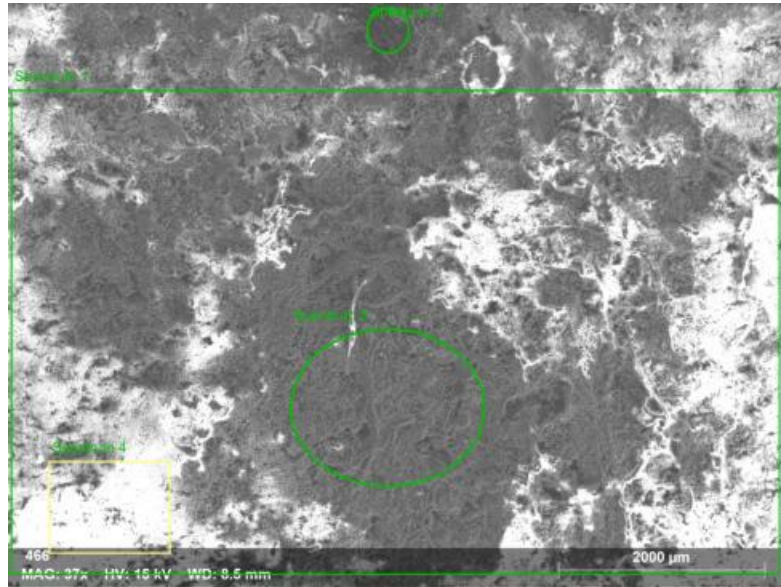
Şekil 7.11. 30 dk. kaplanmış malzemeye ait EDS görüntüleri





Şekil 7.12. 10 dk. kaplanmış malzemeye ait EDS görüntüleri

Şekil 7.3.6’da ve Şekil 7.3.7’de görüleceği gibi parçaların yüzey üzerinde bulunan elementler ve dağılımları verilmektedir.





Şekil 7.13. Atom konsantrasyonu (%)

Çizelge 7.3. Atomların dağılım yüzdeleri

Specturum	Karbon	Oksijen	AL	Silisyum	Klor	Titanyum	Demir	Çinko
Specturum 2	78.64	16.36	0.40	0.53		0.28		3.80
Specturum 1	29.82	44.88			3.77	0.60	0.77	20.15
Specturum 3	30.47	44.36			3.57	0.64		20.96
Specturum 4	26.92	45.05			5.56			22.47
Mean	41.46	37.66	0.40	0.53	4.30	0.51	0.77	16.84
Sigma	24.83	14.21	0.00	0.00	1.09	0.20	0.00	8.75
Sigmamean	12.42	7.10	0.00	0.00	0.55	0.10	0.00	4.38

Şekil 7.3.8’de parça yüzeyinde bulunan elementlerin dağılım yüzdeleri grafik olarak gösterilmektedir.

8. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada toz metalurji teknolojinin bir yöntemi olan DLMS yöntemini kullanarak üretilen parçalar üzerine galvaniz kaplama yapılarak malzemede kaplama tutunabilirliği ve malzemenin korozyona karşı gösterdiği direnç ölçülmüştür.

Parçalara uygulanan galvaniz kaplama süreleri değiştirilerek arasındaki farklar incelenmiştir. Kaplama sırasında parçaların toz metalurji ile üretilmiş olmasından kaynaklı parçalar galvaniz banyosuna girdiği an, kaplama malzemenin en ince gözeneklerine kadar nüfuz ettiği incelenmiştir. 30 dk kaplama süresinin sonunda malzeme incelendiğinde, parça üzerinde kaplamanın doyum noktasında olduğu gözlemlenmiştir.

Her iki kaplamalı parça 1000 saat Tuz testine tabi tutulmuştur. Bu test sonucunda;

- 1000 saat tuza maruz kalan parçaların mekanik ve fiziksel özelliklerinde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir.
- Hem malzemenin Ti oluşu hem de galvaniz kaplama ile parçaların korozyon direnci artma göstermiştir.

Parçaların SEM görüntüleri incelendiğinde noktasal oluşumların korozyon olduğuna dair herhangi bir kanıt bulunamamıştır.

Sonuç olarak, toz metalurjisi ile üretimi gerçekleştirilen parçalarda kaplama tutunabilirliğinin oldukça iyi olduğu ve parçaya yüzeyine kaplama işlemi yaparak parçanın ömrünün uzatılabildiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abe, F., Osaka, K., Shiomi, M., Uematsu, K. & Matsumoto, M. (2001).** The manufacturing of hard tools from metallic powders by selective laser melting, *Journal of Materials Processing Technology*, 111, 1-3, 210-213. doi: 10.1016/S0924-0136(01)00522-2
- Açıkgöz, G. (2018).** *Kulakçayı Gölü'nün doğal radyoaktivite ve ağır metalkirliliğinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktürk, S. B. (2021).** Increasing The Corrosion Resistance Of Galvanized Low Carbon Steels With Graphene Reinforced Polymer Coatings .
- Amado, J. M., Rodriguez, A., Montera, J. N. & Tobar, M. J. (2018).** A comparison of laser deposition of commercially pure titanium using gas atomized or Ti sponge powders, *Surface and Coatings Technology*, 374, 9. doi: 10.1016/j.surfcoat.2019.06.005
- Barucca, G., Mengucci, P., Gatto, A., Bassoli, E., Denti, L., Fiori, F., Girardin, E., Bastianoni, P., Rutkowski, B. & Czyrska-Filemonowicz, A. (2016).** Effects of thermal treatments on microstructure and mechanical properties of a Co-Cr-Mo-W biomedical alloy produced by laser sintering, *Journal Mech Behav Biomed Mater.*, 60, 106-117. doi: 10.1016/j.jmbbm.2015.12.045.
- Bohlen, A., Feribe, H., Hunkel, M. & Vollertsen, F. (2018).** Additive manufacturing of tool steel by laser metal deposition, *Procedia CIRP*, 74, 192-195. doi: 10.1016/j.procir.2018.08.092
- Cai, C., Song, R., Wen, E. & Zhang, S. (2022).** Characterization and control of a new kind of black spot defects on surface of hot-dip galvanized low-aluminum Zn-1.5Al-1.1 Mg coatings. *Materials Letters*, 321, 132439. doi: 10.1016/j.matlet.2022.132439
- Can, A. (2019).** *Toz metal demir malzemelerin galvaniz kaplama özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chakraborty, A., Manna, M., Pandey, A. & Dutta, M. (2013).** Development of an improved tube galvanizing process by prior metallic coating. *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 9, 1501-1508. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2013.03.016
- Chen, Z., Li, Z., Li, J., Liu, C., Lao, C. Fu, Y., Liu, C., Li, Y., Wang P. & He, Y. (2018).** 3D printing of ceramics: A review, *Journal of the European Ceramic Society*, 39, 4, 661-687.
- Coz, G. L., Fischer, M., Piquard, R., D'Acunto, D., Laheurte, P. & Dudzinski, D. (2016).** Micro Cutting of Ti-6Al-4V Parts Produced by SLM Process, *Procedia CIRP*, 58, 228-232. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.326

- Cui, Z., Li, J., Qiu, D., Yang, W. & Zhang, Z. (2023).** Analysis on the Influence Mechanism of Hot-dip Galvanized Steel uniaxial deformation on phosphate conversion coating formation. *Materials Chemistry and Physics*, 310, 128451. doi: 10.1016/j.matchemphys.2023.128451
- Çakır, A., Nalbant, M., Duran, A., Ulaş, H. B. (2012).** AA 7075 Ve AA 6013 Alüminyum Malzemelere Delik Delme Operasyonu Sürecinde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Pages 09-18, Ankara.
- Dutta, B. & Froes, F. H. (2017).** The Additive Manufacturing of Titanium Alloys, *Metal Powder Report*, 72, 2, 96-106. doi: 10.1016/j.mprp.2016.12.062
- Ensarioğlu, C. & Çakır, M. C. (2019).** Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü. *Mühendis ve Makine*, 46, 546, 36-46.
- Eyzat, Y., Chemkhi, M., Portella, Q., Gardan, J., Remond, J. & Retraind, D. (2019).** Characterization and Mechanical Properties of As-Built SLM Ti-6Al-4V subjected to surface mechanical post-treatment. *Procedia CIRP*, 81, 1225-1229. doi: 10.1016/j.procir.2019.03.298
- Galvin, T., Hyatt, N. C., Rainforth, W. M., Reaney, I. M. & Shepherd, D. (2019).** Lasersintering of electrophoretically deposited (EPD) Ti₃SiC₂ MAX phase coatings on titanium, *Surface and Coatings Technology*, 366, 199-203. doi: 10.1016/j.surfcoat.2019.03.031
- Gökçe, & Yavuz. (2013).** Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi. . *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. .
- İçdem, C. (2007).** *Saf titanyum ve Ti6Al4V, Ti6Al7Nb alaşımlarının akışkan yatak ortamında termal oksidasyonu* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıvak, & Arkadaşları. (2017).** Kaplamalı ve Kaplamasız Karbürlü matkap uçları ile delik delme. .
- Kobryn, P., Moore, E., & Semiatin, S. (2000).** The Effect Of Laser Power And Traverse Speed On Microstructure, Porosity, And Build Height In Laser-Deposited Ti-6al-4v, *Scripta Materialia*, 43, 4, 299-305. doi: 10.1016/S1359-6462(00)00408-5
- Kugaeyskii, S., Pizhenkoy, E. & Gamberg, A. (2019).** The effectiveness of additive SLM-technologies in the manufacture of cutting tools, *Materialstoday: Proceedings*, 19, 5, 1977-1981. doi: 10.1016/j.matpr.2019.07.055
- Lanker, T., Bergs, T. & Döbbeler, B. (2019).** Additively manufactured milling tool with focused cutting fluid supply, *Procedia CIRP*, 81, 464-469. doi: 10.1016/j.procir.2019.03.118
- Leavy, G. N., Schindel, R., Schleiss, P. Micari, F. & Fratini, L. (2003).** One the Use of SLS Tools in Sheet Metal Stamping. *CIRP Annals*, 52, 249-252. doi: 10.1016/S0007-8506(07)60577-0
- Lee, J. Y., An, J. & Chua, C. K. (2017).** Fundamentals and Applications of 3D Printing for Novel Materials, *Applied: Materialstoday*, 7, 120-133. doi: 10.1016/j.apmt.2017.02.004

- Leuders, S., Thöne, M., Riemer, A., Niendorf, T., Tröster, T., Richard, H. A. & Maier, H. J. (2012).** On the mechanical behaviour of titanium alloy TiAl6V4 manufactured by selective laser melting: Fatigue resistance and crack growth performance, *International Journal of Fatigue*, 48, 300-307. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2012.11.011
- Liu, H., Li, F., Shi, W., & Liu, R. (2010).** Characterization of hot-dip galvanized coating on dual phase steels. *Surface and Coatings Technology*, Volume 205, Issue 11, 25 February 2010, Pages 3535-3539
- Mikolajczyk, T., Malinowski, T., Moldovan, L., Hu, F., Paczowski, T. & Ciobanu, I. (2019).** CAD CAM System for Manufacturing Innovative Hybrid Design Using 3D Printing, *Procedia Manufacturing*, 32, 3, 22-28. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.178
- Montevecchi, F., Grossi, N., Takagi, H., Scippa, A., Sasahara, H. & Cmpatelli, G., (2016).** Cutting forces analysis in additive manufactured AISI H13 alloy, *Procedia CIRP*, 46, 476-479. doi: 10.1016/j.procir.2016.04.034
- Nagarajan, Z., Stoica, A., Ma, D. & Beese, M. A. (2019).** Stress relaxation behavior and mechanisms in Ti-6Al-4V determined via in situ neutron diffraction: Application to additive manufacturings, *Materials Science and Engineering A* 707. doi: 10.1016/j.msea.2017.09.071
- Ngo, T., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. & Hui, D. (2018).** Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges, *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196. doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2018.02.012
- Ploypech, S., Jearanaisilawong, P. & Boonyongmaneerat, Y. (2012).** Influence of thickness of intermetallic layers on fracture resistance of galvanized coatings. *Surface and Coatings Tecnology*, 223, 1-5. doi: 10.1016/j.surfcoat.2013.02.017
- Prakash, K. S., Nancharaih, T. & Rao, V. V. S. (2017).** Additive Manufacturing Tehniques in Manufacturing-An Overview, *Materialstoday: Proceedings*, 5, 2, 3873-3882. doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.642
- Reimann, W., Pfriem, S., Hammer, T., Pathe, D., Ungers, M. & Dilger, K. (2016).** Influence of different zinc coatings on laser brazing of galvanized steel. *Journal of Materials Processing Tecnology*, 239, 75-82. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.08.004
- Swain, D., Sharma, A., Selvan, S. K., Thomas, B. P., Govind & Philip, J. (2019).** Residual stress measurement on 3D printed blocks of Ti-6Al-4V using incremental hole drilling technique. *Procedia Structural Integrity*, 14, 337-344. doi: 10.1016/j.prostr.2019.05.042
- Tröster, T., Leuders, S., Thöne, M., Reiner, A., Niendorf, T., Richard, H. A., Maier, H. J. (2013).** On the mechanical behaviour of titanium alloy TiAl6V4manufactured by selective laser melting: Fatigue resistance and crack growth performance, *International Journal of Fatigue*, 48, 300-307. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2012.11.011

- Ürkmez Taşkın, N., & Ordu, F. (2020).** Effect of etching duration on roughness and wettability of different carbon steel substrates. *Materials Chemistry and Physics*, 257, 123746. doi: 10.1016/j.matchemphys.2020.123746
- Wang, Z., Stoica, A. D., Ma, D. & Beese, A. M. (2017).** Stress relaxation behavior and mechanisms in Ti-6Al-4V determined via in situ neutron diffraction: Application to additive manufacturing, *Materials Science and Engineering: A*, 707, 585-592. doi: 10.1016/j.msea.2017.09.071
- Yağmur, S., Acır, A. & Şeker, U. (2013).** AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin ve Kaplama Uygulamasının Dairesellikten Sapma (Ovalite) Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 16, 3, 105-109.



