



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SERAMİK KAPLAMA KATMANLI KOMPOZİTLERİN BALİSTİK**  
**DAYANIMININ İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN**

**AHMET BERKAN GÜNAY**

**DANIŞMAN**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ BİLAL KURŞUNCU**

**BARTIN-2018**



**T.C.**  
**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SERAMİK KAPLAMA KATMANLI KOMPOZİTLERİN BALİSTİK**  
**DAYANIMININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN**  
**Ahmet Berkan GÜNAY**

**JÜRİ ÜYELERİ**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU - Bartın Üniversitesi  
Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi  
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜNAL - Bartın Üniversitesi

**BARTIN-2018**

## KABUL VE ONAY

Ahmet Berkan GÜNAY tarafından hazırlanan “SERAMİK KAPLAMA KATMANLI KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAYANIMININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 31.10.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU (Danışman) .....

Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜNAL .....

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **BEYANNAME**

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU danışmanlığında hazırlamış olduğum “SERAMİK KAPLAMA KATMANLI KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAYANIMININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

31.10.2018

Ahmet Berkan GÜNAY

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma aşamasında, yüksek lisans tezinin bilimsel çalışmaları, konunun incelenmesi ve hazırlanması sırasında, yardımını ve fedakârlığını esirgemeyen, desteğini hissettiğim hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Sabri Gök'e teşekkür ederim.

Ayrıca manevi desteğini hiç esirgemeyen ve akademik kariyerimin gelişmesine katkıda bulunan Sayın Doç. Dr. Khangardash Asgarov'a teşekkür ederim.

Ahmet Berkan GÜNAY

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **SERAMİK KAPLAMA KATMANLI KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAYANIMININ İNCELENMESİ**

**Ahmet Berkan GÜNAY**

**Bartın Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU**

**Bartın-2018, sayfa: 71**

Bu çalışmada, AA 7075 alaşımının yüzeyi Atmosferik Plazma (APS) yöntemi kullanılarak krom oksit  $Cr_2O_3$  alüminyum oksit  $Al_2O_3$  zirkonyum oksit  $ZrO_2$  ve  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  tozları ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında numunelere standartlar dahilinde balistik deneyler uygulanarak, malzeme yüzeyindeki deformasyonlar incelenmiştir. Hem kaplama işleminden sonra hem de deneyler sonucunda numunelere geleneksel karakterizasyon işlemleri (sertlik, SEM kesit yüzey incelemesi, EDS analizi) uygulanmıştır.

APS yöntemi kullanılarak AA7075 alaşımının yüzeyi  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  ve  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  tozları ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplama tabakası kalınlığı 200-400  $\mu m$  olarak ölçülmüştür. Atışlar 25 m uzaklıktan 300 m/sn hızındaki kurşun ile gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonrasında en yüksek balistik zırh dayanımına sahip kaplamalar sırasıyla,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  olarak belirlenmiştir. Kaplama sertliğinin zırhlamada önemli parametre olduğu görülürken, sertliğin düşmesi ile zırh malzemesi olarak kullanılan malzemelerin alt yüzeyde daha iyi tutunarak dökülmediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** APS (Atmosferik Plazma Sprey), Balistik dayanım, Kaplama, Kompozit malzeme

**Bilim Kodu:** 625.02.05

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF BALLISTIC RESISTANCE OF COMPOSITES COATED WITH CERAMIC COATING LAYER**

**Ahmet Berkan GÜNAY**

**Bartın University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Bilal KURŞUNCU**

**Bartın-2018, pp: 71**

In this research, chromium oxide  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , aluminum oxide  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , zirconium oxide  $\text{ZrO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$  powders were deposited on the surface of AA 7075 alloy using Atmospheric Plasma Spraying (APS) method. Following the deposition process, the coated samples were subjected to ballistic tests within the frame of related standards to examine the resulting deformations on sample surfaces. Conventional characterization methods (hardness measurement, SEM cross-sectional analysis, EDS analysis) were applied before and after the ballistic tests.

As a result,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$  powders were successfully deposited on AA7075 surface with APS method. The coating layer thickness was measured as 200-400  $\mu\text{m}$ . Ballistic shots were performed from 25 m distance with 300m/s bullet speed. Following the tests, the ballistic shielding strength of the coatings were determined as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$   $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  in the descending order. Coating hardness was found to be an effective parameter for shielding, while shielding materials displayed better adhesion to the lower surface with decreasing hardness values, thus displaying lower levels of disintegration.

**Key Words:** APS (Atmospheric Plasma Spray), Ballistic endurance, Composite material, Coating



**Science Code:** 625.02.05

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY .....	2
BEYANNAME.....	3
ÖN SÖZ.....	4
ÖZET .....	5
ABSTRACT .....	7
İÇİNDEKİLER.....	9
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	11
TABLolar DİZİNİ.....	13
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	14
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	16
1.1 Çalışmanın Önemi .....	16
1.2 Kompozit Malzemeler .....	17
1.2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı, Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	18
1.2.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	19
1.2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	21
1.2.4 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozit Malzemeler.....	22
1.2.5 Yapısal Bileşenlerinin Şekline Göre Kompozit Malzemeler .....	24
BÖLÜM 2 TERMAL SPREY KAPLAMALAR .....	29
2.1 Termal Sprey Kaplamanın Tarihçesi .....	29
2.2 Termal Sprey Kaplama İşlemleri ve Teknikleri .....	30
2.2.1 Alev Sprey Kaplama Teknikleri.....	31
2.2.1.1 Toz İle Alev Sprey Kaplama Tekniği.....	32
2.2.1.2 Tel İle Alev Sprey Kaplama Tekniği .....	33
2.2.1.3 HVOF (High-Velocity Oxyfuel) Kaplama Tekniği .....	34
2.2.2 Patlama Tabancası İle Sprey Kaplama Tekniği .....	35
2.2.3 Elektrik Ark Sprey Kaplama Tekniği .....	36

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3.4 Plazma Sprey Kaplama Yöntemi ve Plazmanın Tanımı .....	37
2.2.4.1 Atmosferik Plazma Sprey Kaplama Tekniği .....	38
2.2.4.2 Vakum Altında Plazma Sprey Kaplama Tekniği .....	40
2.3.5 Soğuk Sprey Kaplama Tekniği .....	41
BÖLÜM 3 YÜKSEK HIZLI ÇARPMA MEKANİĞİ .....	43
BÖLÜM 4 LİTERATÜR TARAMASI .....	46
BÖLÜM 5 MATERYAL VE METOD .....	50
5.1 Çalışmanın Amacı .....	50
5.2 Alt Yüzey Malzemesi .....	50
5.3 Alt Yüzey Malzemesinin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması ve Kaplanması .....	51
5.4 Kaplama Kalınlığı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması .....	52
5.5 Sertlik Değeri .....	52
BÖLÜM 6 BULGULAR VE TARTIŞMA .....	53
6.1 Yüzeyi APS Yöntemi İle Kaplanan Numunelerin SEM Kesit Görüntüsü .....	53
6.2 Balistik Deney Sonrasında Malzemelerdeki Şekil Değişikliklerinin Görüntüleri ve Deney Şartları .....	61
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	64
7.1 Genel Sonuçlar .....	64
7.2 Öneriler .....	65
KAYNAKLAR .....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	71

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Değişik tipte fiber kompozitler .....	26
1.2: Açılı tabakalara sahip bir kompozitin şematik gösterimi.....	27
2.1: Termal spreylemenin temel şeması.....	30
2.2: Toz alev spreylemenin şeması .....	33
2.3: Tel alev spreylemenin şeması .....	34
2.4: HVOF kaplama yönteminin şematik gösterimi .....	35
2.5: Sprey tabancası ile kaplama yanal kesiti.....	36
2.6: Elektrik ark püskürtme yönteminin şematik gösterimi .....	37
2.7: Plazma spreyleme yönteminin şematik gösterimi .....	39
2.8: Plazma spreyleme yönteminin şematik gösterimi.....	40
2.9: Vakum Plazma spreyleme yönteminin şematik gösterimi .....	40
2.10: SGDP tekniği ekipmanlarının şematik gösterimi.....	41
2.11: Laval tipi nozulün şematik gösterimi.....	42
3.1: Yüksek hızlı çarpışma mekaniği test cihazı.....	45
6.1: APS yöntemi ile yüzeyi Krom oksit tozları kaplanan numunenin SEM kesit yüzey görüntüsü.....	53
6.2: APS yöntemi ile yüzeyi Zirkonyum oksit tozları kaplanan numunenin SEM kesit yüzey görüntüsü .....	54
6.3: APS yöntemi ile yüzeyi Alüminyum oksit tozları kaplanan numunenin SEM kesit yüzey görüntüsü .....	55
6.4: APS yöntemi ile yüzeyi Alüminyum oksit+Krom oksit tozları kaplanan numunenin SEM kesit yüzey görüntüsü .....	56
6.5: APS yöntemi ile yüzeyi Krom oksit tozları kaplanan numunenin EDS analizi görüntüsü.....	57
6.6: APS yöntemi ile yüzeyi Zirkonyum oksit tozları kaplanan numunenin EDS analizi görüntüsü.....	58
6.7: APS yöntemi ile yüzeyi Alüminyum oksit tozları kaplanan numunenin EDS analizi görüntüsü.....	59
6.8: APS yöntemi ile yüzeyi Alüminyum oksit+Krom oksit tozları kaplanan numunenin EDS analizi görüntüsü.....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ ( DEVAM EDİYOR )

Şekil No	Sayfa No
6.9: Boş plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü .....	61
6.10: Krom oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü .....	62
6.11: Zirkonyum oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.....	62
6.12: Alüminyum oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü .....	63
6.13: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.....	63

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>5.1:</b> Kaplanacak malzeme karakterizasyonu .....	50
<b>5.2:</b> Atışlarda kullanılan alüminyumun mekanik özellikleri .....	51
<b>5.3:</b> Kaplama parametreleri .....	51
<b>5.4:</b> Sertlik parametreleri .....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	:	Alüminyum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	Alüminyum oksit
Cu	:	Bakır
Fe	:	Demir
Mg	:	Mangezyum
Mn	:	Mangan
Si	:	Silisyum
SiC	:	Silisyum karbür
Ti	:	Titanyum
WC	:	Vofram karbür
Zn	:	Çinko

## **KISALTMALAR**

ASTM	:	American society for testing and materials
APS	:	Atmosferik plazma spreyleme (atmospheric plasma spray)
Ar-Ge	:	Araştırma –geliştirme (research and development)
EDX	:	Energy dispersive X-RAY
EDS	:	Energy-dispersive X-ray spectroscopy
HVOF	:	Yüksek hızda oksit yakıt püskürtme (high velocity oxygen)
NASA	:	Ulusal havacılık ve uzay dairesi
PBO	:	Poli-P-Fenilenbenzobisoksazol
PIPD	:	Poly (Pyridobisimidazole)
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope)
SHPN	:	Split Hopkinson Pressure Bar-Ayrık Hopkinson basınç çubuğu
UHMW-PE	:	Ultra molekül yüksek ağırlıklı polietilen



# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Günümüzün en önemli gereçlerinden bir tanesi haline gelen zırh, kullanım faaliyetleri türünden eski çağlardan günümüze kadar önemini hissettiren bir savunma aracıdır. Eski çağlardan itibaren savunma sanayi alanında da incelemelerde bulunulmuş, böylelikle modern zırhların geliştirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Savunma sanayi alanlarında kullanılan zırh türleri günümüzde gelişmekte olan silah sanayi ile birlikte modern savunma araçlarına karşı üstün performans sağlamak zorunda olacaktadırlar. Bu sebeptendir ki, zırhın yapısı bakımından mühimmatın temasından meydana gelebilecek yükler altında işleyişini etkin bir biçimde gösterip gösteremeyeceği, geniş bir inceleme konusu olmuştur (Vural, 2000).

Alüminyum parçalar uçak sanayi, gemi parçaları, çelik yapı gibi çok çeşitli üretim sahalarının yanında, hareketli parçaların düşük korunma istenilen sistemlerde de faaliyet sahaları bulmaktadır. Çarpma veya yüksek hızlı yükleme şartları, zırh araçlarının uygulama sahaları için önemli bir ölçüt olmuştur. Bu tür çalışmalarda, ağırlık dikkat edilmesi gereken ölçüttür. Bu sebeptendir ki, yüksek ağırlığa sahip çelik veya beton türevi gibi malzemeler yerine, daha hafif olan alüminyum alaşımı malzemelerin kullanıldıkları bilinmektedir (Borvik, 2005).

Bu çalışmada; alüminyum parçaların üzerine dik gelen yüksek hızlı çarpma yükleme şartlarındaki dayanımlarına karşı mermi hızı, levha kalınlığı gibi veriler ile beraber, farklı performans yükseltici faaliyetlerin (yüzey kaplama) etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmada, parçaların ön alanlarına, ısı püskürtme yöntemiyle gerçekleştirilen kaplamaların balistik dayanıma etkilerinin gözlenmesi amacıyla uygulanan deney şartları ile birlikte, parçaların ön ve arka bölgelerinde meydana gelen deformasyon miktarlarının gözlemlenmesi sağlanmıştır.

### 1.1 Çalışmanın Önemi

Son zamanlarda teknolojik ilerlemeler ile birlikte zırh araçlarının faaliyetleri

araştırıldığında, şahıs güvenliği ile hava araçları, vb. uygulama sahalarında zırh malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Yaşanan gelişmeler izlendiğinde silah sanayi ile birlikte her geçen gün zırh kullanımının da önemi artmıştır. Bu sektörlerde, enerji emişi özelliğini geliştirilmiş olan geleneksel türdeki parçaların ya da bu parçalara, gelişmekte olan üretim teknolojileri ile yeni malzeme türleri ilave edilerek meydana getirilen bütünleşmiş zırh sistemlerinin faaliyet alanları önem kazanmıştır (Candan, 2005).

Koruyucu zırhın etki alanı belirli bir sınırın altında kaldığında, benzer tehlikeye direnebilmek için yeni ve üstün koruyuculuk özellikteki malzemelerin bulunması gerekmiştir (Gama, 2001). Gözlemlenen incelemelerde, hafif alüminyum malzemelerin kullanıldığı zırh türlerinden, geleneksel ürünlere oranla daha iyi sonuçlar alınmıştır.

## **6.2 Kompozit Malzemeler**

20. yy. sonlarından itibaren farklı tekniklerin hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte, sanayi alanının temel gereksinimi haline gelen malzeme türleri ve biliminde de gelişmeler olmasına fırsat tanımıştır. Ancak dünyadaki başlıca malzeme türlerinin belirli sayıda olması nedeniyle, malzeme türlerinin özellikleri bakımından teknolojik gelişmelere yetişemediği görülmüştür. Uzay sanayisindeki parçaların üretildiği yıllarda, bilim insanları günümüz gelişmeleri ile beraber mevcut malzemelerin özelliklerinden, bilimin gelişmesi açısından mevcut duruma ayak uyduracak biçimde ekonomik ve teknik yönden daha katkı sağlayacak malzemeler üretme fırsatlarını aramışlardır.

Bu sebeple ekonomik, yüksek mukavemetli ve hafif malzeme türlerinin ortaya çıkması için uygulanan araştırmalar yapılmıştır. Böylelikle malzeme oluşturan bileşen türlerinin, farklı özellik bakımından bir araya getirilmesi ile oluşturdukları kompozit malzemeler, büyük önem arz etmektedir.

Günümüzde yüksek Mukavemet/Ağırlık, Rijitlik/Ağırlık oranına sahip fiber takviyeli reçine kompozit malzemeler, havacılık ve uzay sanayi gibi hassas içerikli çalışmalarda kendilerine önemli bir kullanım alanları yaratmışlardır. Günümüze kadar tahta parçalardan üretilen yatlar artık polyester, cam elyaf ile üretilen aynı özellikleri barındıran malzemelere yerlerini bırakmaktadır. Bakım onarım çalışmaları açısından avantajlı kompozit malzemelerden üretilen tekneler hafif, uzun süre dayanıklı ve yüksek hızda olmaları

açısından tercih edilmektedirler. İmalat sanayisinde artık birçok parça kompozit malzemeden imal edilmektedir (Onat, 2015).

### **1.2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı, Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması**

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla malzeme ile istenilen özelliklerin tek bir malzemede bir araya getirilerek ya da yeni özellikler kazandırmak için malzemelerin makro boyutta bir araya getirilmesi ile oluşturulan yeni malzemelerdir.

Bir malzemenin kompozit malzeme isimlendirilmesi için aşağıda belirtilen özellikleri taşıması gerekmektedir: İnsan tarafından imal edilmelidir, iki veya daha yüksek sayıda fiziksel ve mekanik özelliğe sahip farklı malzeme türlerinin bir araya getirilmesi ve farklı ara yüzeyleri olmalıdır, bir tek bileşenle ulaşılamayan mekanik özelliklere gerçekleştirilmeleri, optimum özellikleri oluşturmak için bir malzeme türü içerisine diğer malzemenin kontrollü bir şekilde karıştırılmasıyla, iki ayrı malzeme birbiri içerisinde dağıtılarak kompozit malzeme elde edilir. Özellikleri yüksek olan kompozit malzemeyi meydana getiren elemanların, en fazla istenilen özellikleri bir arada biriktirmesi gerekir.

Kompozit bir malzeme ile üretimi yapılacak olan ekipmanlar üretilirken, parçalarının hangi sektörde de ihtiyaç olduğu ve ihtiyaca yönelik özelliklerin hangileri olduğunu bilmek gerekir. Kompozit malzeme üretilirken maliyeti, hammaddesi, çevre şartlarının malzemeye olan etkisinin, üretim türü, kalite-kontrolü gibi seri faktörler hep beraber incelenmelidir.

Tasarlama esnasında meydana gelen zor durumlardan bir tanesi, kompozit malzemenin izotropik özelliklerini gösterememesidir. Bu sebepten dolayı üretici, parçayı her açıdan ne sıklıkla yüke maruz kalacağını ve parça hangi noktada ne miktarda mukavemete ihtiyacının olduğunu iyi kavrayabilmeli, fiberlerin konumunu analiz etmelidir.

Kompozit malzeme çekirdek olarak, takviye edici malzemeyi ve etrafında hacimsel çoğunluğa sahip bir matris malzeme ile birlikte yer almaktadır. Takviye edici malzemeler, kompozit malzemelerin mukavemeti ve yük taşıma özelliklerini oluşturmaktadır. Matris malzemeler, plastik deformasyon geçişinde meydana gelebilecek çatlakların ilerlemesini engeller ve kompozit malzemelerin kopma mukavemetini uzatır. Matris malzemelerin görevi, fiber malzemelerin yük ile birlikte tutunabilmesini sağlamak ve yükü liflere

homojen bir şekilde paylaştırmaktır. Bu sayede fiber malzemeler, plastik deformasyon oluştuğunda meydana gelecek çatlak ilerlemelerini engeller.

Kompozit malzemelerin, hafiflik, parça bütünlüğü, darbe dayanımı, yüksek mukavemet ve ömürleri gibi özellikleri, üretim sahalarında avantajlar yaratmaktadır. Örnek olarak, cam elyafları elastik malzemelerdir. Yük altındayken kopma anına kadar uzayan cam elyafları, çekme yüklerinin kalkması sonrasında akma özellikleri açığa çıkarmadan başlangıçtaki konumuna döner. Metal malzemelerde ve organik lifte olmayan bu yüksek mukavemet ve elastik özellikleriyle cam elyaflarına yüksek ölçüde enerjiyi israftır stoklama ve serbest bırakma imkanını sunmaktadır. Bu özelliklerle, dinamik yorulma dayanımını, aşınmaya karşı korunması şartı ile araç ve mobilya yayları gibi ekipmanların cam elyafı takviyeli plastik malzemelerden üretilmesini sağlamaktadır.

Cam elyafı takviyeli plastikte, cam elyafı takviye yönleri önemli faktördür ve bu cam elyaflarının reçineler ile birleşmesini etkileyecektir. Bu nedenle takviyelerdeki miktarların yükselişi ile beraber cam elyafların mukavemetleri de yükselecektir. Kompozit malzemenin bu yüksek özelliğine rağmen, yük kapasitesi kabiliyetlerinde süreçle birlikte düşüş gözlemlenir. Bu sebeple, üretim yapılacakken uygun bir emniyet faktörü belirlenerek, ani kırılmanın engellenmesi gerekmektedir. Süreyle beraber mukavemet değerinin düşmesi, çekme dayanım miktarının başlangıçtaki konumunun 2/3 oranında çok az sürede inmesi ve 1/2 oranına 50 yılda inmesi şeklinde incelenmektedir (Onat, 2015).

### **1.2.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları**

Kompozit malzemenin özgül ağırlığını düşük seviyede olması, ağırlığı az olan yapılarda avantaj sağlamaktadır. Bununla beraber fiber takviyeli kompozit malzemenin korozyona ve yüksek ısıda dayanımı gibi özellikler sağlaması, kullanım alanları için önemli bir değer oluşturmaktadır. Kompozit malzemenin dezavantajlı taraflarını bertaraf etmek için araştırmaların olumlu olması sonrasında kompozit malzeme metalik malzemenin yerinde kullanılabilirler.

Kompozit malzemenin avantajlarını Şu Şekilde açıklayabiliriz:

- **Yüksek Mukavemet:** Kompozit malzemenin çekme ve eğilme mukavemeti, çok sayıda metalik malzemeye oranla yüksektir. Ek olarak, kaplama yapılması ile arzu edilen tarafta ve alanda beklenen mukavemet sağlanabilir. Bu nedenle malzemelerden tasarruf sağlayarak, düşük ağırlıkta ve düşük maliyette ürünler üretilebilir.
- **Kolay Şekillendirme:** Kompozit malzemeler kullanılarak üretilen büyük ölçüye sahip ve kompleks ürünler, bir seferde şekillendirilebilir. Böylece malzeme ve işçilik kazancını sağlayacaktır.
- **Elektriksel Özellikler:** Uygun malzemenin belirlenmesiyle, istenilen elektriksel özelliği içeren kompozit ürün üretilebilir.
- **Isıya Dayanıklılık:** Isı iletim katsayısı düşük malzemedan üretilen kompozitin ısıya dayanıklılığı, yüksek ısı içeren ortamda çalışabilmesine imkan sağlar. Farklı katkı maddesi ile kompozit malzemelerin ısıya dayanımları yükseltilebilir.
- **Titreşim Sönümlenme:** Kompozit malzemenin süneklik özelliği sayesinde, doğal titreşim sönümleyici ve şok emici özelliğine sahiptir. Bu nedenle çatlak yürüyebilme olayının da önüne geçilmiş olur.
- **Korozyon oluşumuna ve Kimyasal Etkilere Karşı Dayanım:** Kompozit malzemeler, hava şartlarından, korozyon ve birçok kimyasal şartlardan etkilenmez. Bu özellikleri sayesinde kompozit malzemeler yat, petrol hatları ve kimyasal depolama alanları gibi pek çok alanda kullanılabilirler.
- **Kalıcı Renklendirme:** Kompozit malzemeler üretimi sırasında reçine içerisine eklenen renk pigmentleri sayesinde arzu edilen rengi alabilirler. İşçilik ve malzeme maliyetleri artmadan bu işlemler yapılabilir. Kompozit malzemeler aşağıda belirtilen dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyum malzemelere

oranla daha avantajlıdır. Bu sebeple kompozit malzeme savunma, havacılık, ulaşım, depolama, deniz araçları üretiminde kullanılabilir.

Kompozit malzemelerin dezavantajlarını şu şekilde sıralanabilir:

- Hammaddenin yüksek maliyetli olması: Havacılık sanayinde kullanılacak kalitedeki karbon kumaşının maliyeti ortalama 50 dolardır.
- Kompozitlerin lamine edilmiş olanlarının özellikleri her daim ideal olmayabilir, kalınlık yönünde katlar arası düşük kesme dayanımı ve düşük dayanıklılık özelliği gösterebilirler.
- Üretim yöntemlerinin kalitesi malzemenin kalitesi ile paraleldir, standart bir kalite söz konusu değildir.
- Kompozitler gevrek malzeme olmaları nedeniyle rahatça zarar görürler, onarılmaları yeni problemler oluşturabilir.
- Malzemelerin süreli raf ömürleri vardır. Bazı kompozit malzemeler dondurularak saklanmalıdır. Sıcak kurutma işlemi gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi şekilde kurutulmalı ve temizlenmelidir. Bazı durumlarda bu işlem zor olabilir. Bazı kurutma teknikleri uzun süreler alabilir (Onat, 2015).

### **1.2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerin, yapılarını meydana getiren yapı bileşeni ve malzemelerin şekline göre iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlardan ilki matris malzeme cinsine göre diğeri ise yapı bileşiminin biçimine göre. Matris malzeme cinsine göre;

- Plastik Matrisli Kompozit,
- Metalik Matrisli Kompozit,
- Seramik Matrisli Kompozit.

Yapı bileşeninin biçimine göre de sınıflandırılabilir:

- Partikül (Parçacık) Takviyeli Kompozit,
- Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozit,
- Tabaka Yapılı Kompozit (Lamine Kompozit),
- Dolgu Yapılı Kompozit.

şeklindedir (Onat, 2015).

#### **1.2.4 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozit Malzemeler**

Plastik – Plastik Kompozit malzemeler fiber malzeme olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliği içerir iken, matris olarak kullanılan malzemeler esneklik verici plastik, darbe emici ya da istenen özelliğe göre kullanılan plastiğin özelliğini içermektedir. Kullanılabilecek plastik türleri de iki farklı sınıfa ayrılmaktadır.

Termoplastikler: Bu cins plastikler, ısıtılınca yumuşak bir hal alır ve şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra soğutulduğunda tekrar sertleşir. Bu işlem esnasında plastiğin mikro yapısında herhangi bir değişiklik görülmez. Çoğunlukla 5-50 derece arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Naylon,
- Polietilen,
- Karbonflorür,
- Akrikler,
- Selülozikler,
- Viniller.

Termoset Plastikler: Bu cins plastiklerde ise ısı ile şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra soğuduklarında mikro yapıda oluşacak değişim sayesinde eski yapısına dönüşüm artık mümkün olmayacaktır. Bu gruba ait plastikler ise şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Polyesterler,

- Epoksiler,
- Aminler.

Plastik – Metal Fiber Kompozit malzemeler endüstride geniş kullanım alanı olan metal fiber takviyeli plastikten meydana gelen kompozit malzemeler, oldukça mukavemetli ve hafif bir malzeme olarak görülmektedir. Bu kompozit malzemeler, polipropilen ve polietilen gibi plastiklerin, alüminyum, bakır, çelik, bronz, vb. metal fiberlerle takviye edilerek üretilir ve yaygın şekilde kullanılırlar. Deformasyona karşı gösterdiği direnç yönünde takviye edilerek üretilen kablolardan yüksek verim alınmakta olup yaygın biçimde kullanılmaktadır (Onat, 2015).

Plastik – Cam Elyaf Kompozit malzemeler; Bu tür kompozitler, amaca göre termoset veya termoplastikler, plastikten meydana gelen cam liflerin ve matrisin uygun kompozisyonlarından imal edilmektedir. Fiziksel ve mekanik özellikleri sayesinde cam lifler çoğu aşamada asbest, pamuk ipliği, metal ve sentetik elyaf gibi lifler yerine tercih edilir. Fakat cam elyafı kompozit malzemeler, yüksek kuvvetleri ulaştırmalarına rağmen camın kırılabilirliği nedeniyle çok düşük dirence sahiptirler. Bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, kullanılmış olan plastik reçinelerin uygun olanı tercih edilerek istenilen düzeye getirilir. Plastik reçine malzemeler de, daha önce de açıklandığı gibi termoset ve termoplastik türündedir. Fiberlerin düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete sahip termoset plastikler olabilirler. Polyesterler, cam elyaf takviyeleri ile en çok tercih edilen plastik reçineler arasında yer alırlar.

Plastik – Köpük Kompozitler; Bu tür kompozitlerde köpük matris olarak yer alırken plastik fiber olarak yer almaktadır. Köpükler, düşük yoğunlukta, hücreli bir yapıya sahip, gözenekli ve doğal halde olduğu gibi, birçoğu sentetik olarak üretilmiş hafif maddelerdir. Köpük hücre biçimine göre kırılabilir, sert, elastik ya da yumuşak olabilir. Matris malzeme olarak kullanılan bu tür köpükleri, kullanılmış olan plastiğin farklı türleri sayesinde farklı özelliğe sahip kompozit malzemenin elde edilmesini sağlar.

Metal Matrisli Kompozitler; Birçok metal ve metal alaşımı malzeme, yüksek sıcaklık altında arzu edilen özelliği gösterebilmelerine rağmen kırılabilirler. Ancak metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler, iki fazın uyumlu olması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliğini açığa çıkarabilirler. Alüminyum ve bakır



matrisli, Molibden ve ya Wolfram fiberli kompozitler ve Alüminyum-Bakır kompoziti, bizlere bu kompozisyonu sağlayan en iyi örnekler arasındadır. Bu tür kompozit malzemelerde, matrisin özelliğini iyileştireceği gibi bu özellikleri daha ekonomik olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Bu tür kompozit malzemelerde metal matris içine ilave edilen ikinci faz sürekli lifler biçiminde gözlenebildiği gibi, rastgele dağıtılmış parçalar şeklinde de olabilirler.

Seramik Kompozitler metal ya da metal olmayan malzemenin birleşimlerinden meydana gelen seramik kompozitler, rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanım göstermektedirler ve buna ek olarak elektriksel özelliği nedeniyle çok iyi bir yalıtkanlık gösterirler (Onat, 2015).

### **1.2.5 Yapısal Bileşenlerinin Şekline Göre Kompozit Malzemeler**

Partikül esaslı kompozitler, matris bir malzemenin içerisine başka bir malzemenin parçacıklar şeklinde yer alması ile elde edilirler. Bu tür kompozit malzemeler sıfır boyuta sahip ya da iki veya tek boyutlu mikroskobik partiküllerin matris ile meydana getirdikleri malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu 1 µm'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazlasını içermemektedir. En çok tercih edilen parçacık türleri ise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC'den meydana gelen seramiklerdir.

Burada yük, matris ve elyaf tarafından birlikte sevk edilir ve özellikleri yine izotropiktir. Bu kompozit malzemeler dayanımı iyileştirmekten bir yana alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler oluşturmak için tasarlanmaktadır. Bu kompozit malzemeler; polimer seramik ve metallerin birleşiminden meydana gelebilirler. Beton ve sert metal uçlar da bunlara örnek gösterilebilir. Yapının mukavemeti parçacığın sertliği ile paraleldir. En yaygın tür plastik matris içerisinde bulunan metal parçacıktır. Metal parçacıklar elektrik ve ısı iletkenlik oluştururlar. Sermet yapıların yani, metal matris içerisinde seramik matris bulunduran yapıların, sıcaklık dayanımı ve sertlik değeri yüksek seviyededir. Sermetler, elektrik parçaları, kulplar ve korumalık gibi küçük parçaların üretiminde kullanılırlar.

Döküm yöntemi ile üretilen bu tip kompozit malzemelerde pratikte görülen bir problemde, parçacık takviyesi yapıldığında, tozların birbiriyle karışmasında zorluk çekilmesi ve eriyik viskozitenin aşağı seviyelere inmesi, sıvı metal malzemenin seramik parçacıkları

ıslatılmamasıdır. Islanabilirliğin iyileştirilebilmesi için;

- Katı yüzey enerjisinin artırılması,
- Sıvı metal yüzey geriliminin azaltılması,
- Katı ve sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi parametrelerin incelenmesi gerekir.

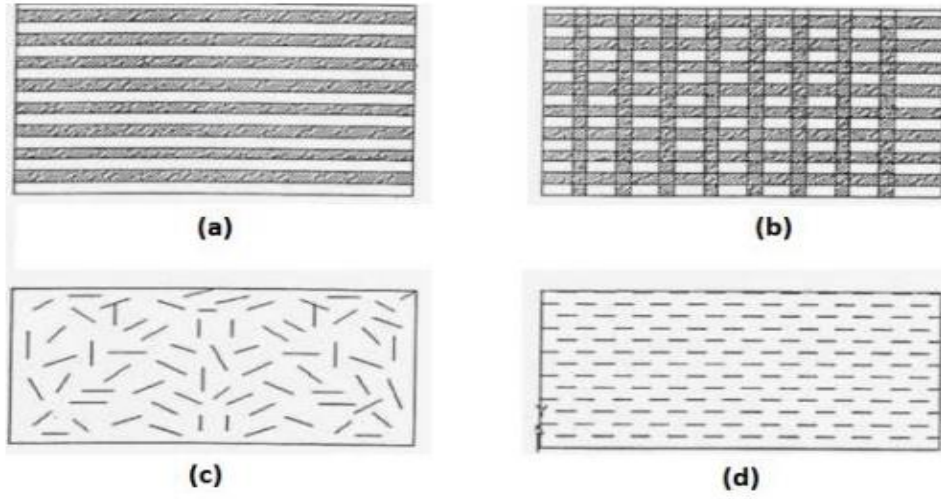
Bu sebeple, ısı işlem uygulanması veya matris bileşiminin ayarlanması parçacık yüzeyine kaplama yapılması gibi yöntemler yapılmaktadır. Metal matris ile kompozit malzemelerde ıslanabilirliği iyileştirebilmek için çoğunlukla magnezyum içeren malzemeler kullanılmaktadır. Bir kompozitin dayanımı;

- Parçacıkların büyüklüğüne,
- Parçacıklar arası mesafe ve homojen dağılıma,
- Matrisin özelliklerine,
- Parçacıkların özelliklerine göre değişir.
- Bu tür kompozit malzemelerde artan takviye elemanı miktarı ile beraber yapı içerisinde porozite vb. hatalar çoğalmaktadır. Bu nedenle ikinci bir işlem yapılmaktadır. Haddeme buna örnek olarak verilebilir.

Fiber Esaslı Kompozitler: Bu cins kompozit malzemeler, çoğu özelliklerde iyileşme içeren, yüksek etkinliği olan liflerin takviyesiyle üretilirler. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelerin geneli fiber biçiminde üretildiklerinden mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok yüksek seviyelerde olabilir. Örnek olarak karbon fiberlerin rijitliği 3 kat daha fazladır. Çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 katı fazladır. Fiberlerin sahip olduğu bu özelliklerinin belirlenmesiyle fiber kompozitlerin üretilme süreci başlamıştır. Son yıllarda düşük performansa sahip ev gereçlerinden, roket motorlarına üretim sahasında yer alan malzemeler olarak karşımıza çıkar. Fiberler, yapı içerisinde elyaflar, süresiz uzayan sürekli fiberler veya uzun fiberlerin kısaltılmasıyla üretilen süreksiz fiberler biçiminde görülebilirler.

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin mühendislik özelliklerini etkileyen ve en önem arz eden faktörü, fiberlerin uzunluğu, şekli, matrisin mekanik özellikleri, yönlendirilmesi ve fiber

matris ara yüzey özelliğidir.



Şekil 1.1: Değişik tipte fiber kompozitler (Onat, 2015).

- Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozitler,
- Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozit,
- Rastgele yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozitler,
- Yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozitler.

Fiber malzemeler, dairesel olabileceği gibi daha az görülen hegzagonal, dikdörtgen, poligonal ve içi boş dairesel kesitli şekilde de görülebilirler. Bu kesit türlerinin birçok olumlu özellikleri sahip olmasına rağmen dairesel kesitlerin maliyetleri ve kullanım kolaylığı sayesinde üstünlük gösterirler. Sürekli fiberlerle çalışmak çoğunlukla daha basit olmakla birlikte tasarım serbestliği, süreksizlere nazaran çok kısıtlıdır. Sürekli fiber malzemeler süreksiz olanlardan daha iyi yönlenme göstermesine rağmen süreksiz fiber malzemelerin kullanılması sonrasında daha kolay sonuçlar verdiği görülmektedir.

Uzun elyaf türlerinin matris içerisinde birbirlerine paralel biçimde konumlandırılmaları ile elyafların bulunduğu doğrultuda yüksek mukavemet gösterirken, elyafların dik olduğu doğrultuda düşük mukavemet değeri açığa çıkar. İki boyutlu konumlandırılmış elyaf takviyeleri ile her iki yönde de aynı mukavemeti sağlanırken, matris içerisinde homojen şekilde dağılmış olan kısa elyaflar ise izotrop bir yapı açığa çıkarma imkanı vardır.

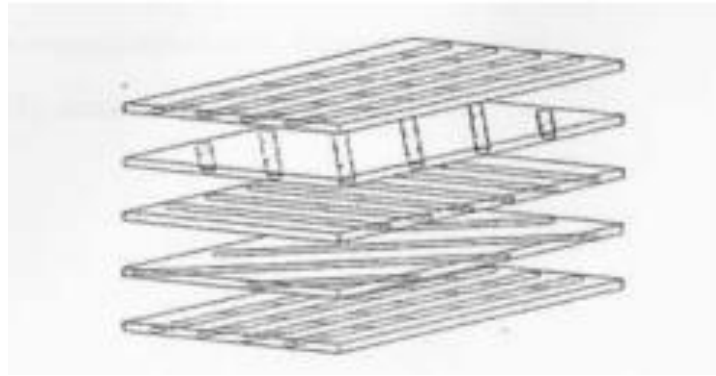
Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından önem arz eder. Buna ek

olarak, elyafların uzunluk çap oranı yükseldikçe, matris tarafından elyaflara ulaştırılan yük miktarı yükselmektedir. Elyaf yapının kusursuz olması da mukavemeti açısından yüksek önem arz etmektedir.

Kompozit bir yapının mukavemet değerindeki en önemli farklılıklardan biriside matris ile elyaflar arasındaki bağın yapısı olmaktır. Matris içerisinde boşluk yer alıyor ise elyaflar ile temas da azalma gözükcektir. Matris ile elyaf arasındaki bağı yok eden olumsuzluk ise nem absorpsiyonudur.

Tabaka yapılı kompozit malzemeler, tabakalı kompozit yapı geniş bir kullanım alanına sahip olan eski bir yöntemdir. Bu cins kompozit malzemeler, ayrı özellikleri barındıran iki veya daha fazla tabakadan meydana gelir. Tabakalı kompozit malzemeler çok, farklı türde üretilme imkanı bulurlar.

Farklı elyaf yönlenmeleri içeren tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değeri açığa çıkabilir. Nem ve ısıya karşı dayanımları yüksektir. Metallerle nazaran hafiftirler ve aynı zamanda mukavemet özelliği göstermeleri sebebiyle tercih edilen malzemelerdir. Katmanlı kompozit malzemeler düşük maliyete ve yüksek dayanıma sahiptir. Yüksek ısıl genleşme özellikleri gösterirler. Aşınma veya abrasiv aşınma direnci bulunmaktadır.



Şekil 1.2: Açılı tabakalara sahip bir kompozitin şematik gösterimi (Onat, 2015).

Aşınma direnci ve korozyon gibi önemli özelliklerin birçoğu, kompoziti meydana getiren bileşenlerin birbirine olan bağına göredir. Düşük korozyon direncine sahip metallerin plastikler ve yüksek dirençli malzemeler ile kaplanmasıyla korozyon dirençleri artırılır. Yumuşak metal malzemelerin sert metal malzemeler ile bir araya getirilmesiyle aşınma direnci ve sertliği, fiber yönlenmesine sahip tek tabaka ile bir araya getirilmesiyle çok

yönlü yük taşıma özelliğinin gelişmesine olanak tanımaktadır.

Elektrik şarjı biriktirmek için kullanılan kondansatörler genel olarak dönüşümlü bir iletken ve bir yalıtkan katmanların art arda gelerek ortaya konulduğu katmanlı kompozit malzemelerdir.

Dolgu yapılı kompozit malzemeler, üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu bir dolgu malzemesi ile biriktirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir.

Matris, çeşitli geometrik şekilleri olan bir şebeke veya iskelet yapısındadır. Düzgün hücreler, petekler veya sünger andıran gözenekli yapılar arasında seramik esaslı dolgu malzemeleri, metalik veya organik malzemeler içerebilir. Optimum özellikleri olan kompozit malzemelerin oluşturulması için birbiri içerisinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon olmayan bileşenlerin belirlenmesi gerekir (Onat, 2015).

## BÖLÜM 2

### TERMAL SPREY KAPLAMALAR

#### 2.1 Termal Sprey Kaplamanın Tarihçesi

Termal sprey kaplama yöntemi ilk olarak metalizasyon olarak isimlendirilmiştir. 1890-1910 yılları arasında metalizasyon işlemini gerçekleştirmek adına oksijen-asetilen torcu kullanılmıştır. 1910 yılında ise İsviçreli bilim adamı Dr. M. Schoop ısı kaynağı olarak oksijen ve asetilenin kullanıldığı, ergimiş olan malzemeyi püskürtmek üzere basınçlı havadan yararlandığı bir tabanca geliştirmiştir. Bu tabanca sayesinde sıvı kurşunu, oyuncak topa püskürtüldüğünde kurşunun bütün yüzeyde yapışıp kaldığı görülmüştür. Böylece termal püskürtme teknolojisinin temelleri atılmıştır.

Daha sonraki yıllarda bu yöntem Amerika'da R. Axline, G. Lufkin ve H. Ingham tarafından geliştirilmeye başlanılmıştır. 1933 yılında ise endüstriyel uygulama sürecini hızlandıracak Metco Inc açılmıştır. 1939 senesinde ilk defa Reinecke tarafından endüstriyel olarak termal sprey kaplama yöntemi ile kaplama yapılmıştır. Daha sonra çeşitli Amerikan şirketleri tarafından bu yöntem geliştirilmeye devam edilmiştir (Ersöz, 2011).

1950 yılına gelindiğinde Amerikan havacılık ve uzay dairesi yani kısaca NASA kurulmuş ve araştırmalara başlamıştır. NASA'nın üzerinde araştırmalar yaptığı çalışmalar sonucunda aşınma ve korozyon direnci yüksek olan aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda çalışabilen malzemelerin ve kompozitlerin kaplanması için yeni tekniklerin arayışı başlamıştır. Bundan dolayı plazma torcunun buluşunu, termal spreylemenin gelişiminin önünü açmıştır.

20. yüzyılın başlarında termal spreyleme işlemi, tamir amaçlı olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Ancak 1960 yıllardan sonra çok hızlı bir şekilde gelişen termal spreyleme işlemlerinde kullanılan yöntemler ve malzemeler, termal spreyleme aletleri ve işlem parametrelerinin hızlı bir şekilde gelişmesinden dolayı teknolojik ilerlemeler ve yeni ve potansiyel uygulama çeşitliliği ortaya koymuştur. 1960'lı senelerde ise ısı kalkanlar ve jet

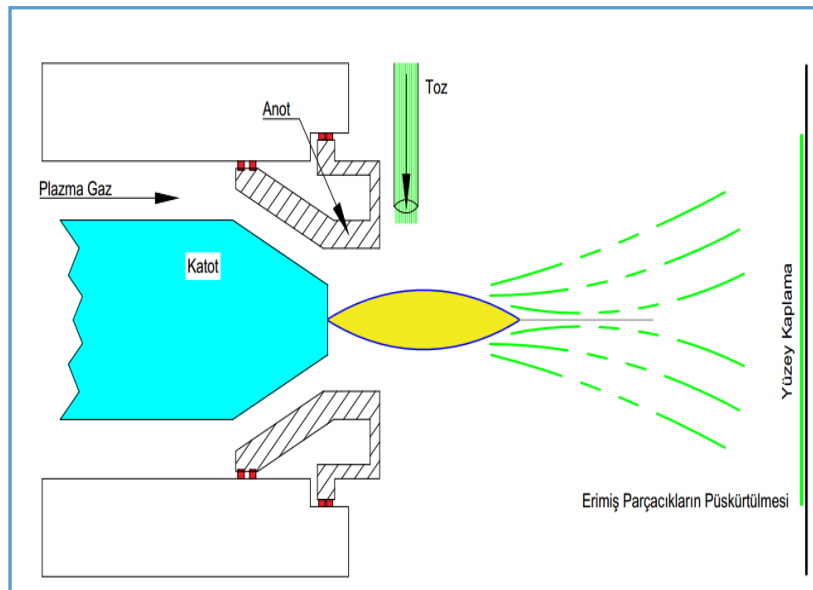
motorlarında termal sprej yöntemi ile kaplama tercih edilmeye başlanılmıştır. 1980'li yıllar incelendiğinde soy gaz atmosferlerin kullanımı, termal sprej kaplamalarının kalitesini arttırmış ve endüstrinin beklentilerini daha iyi karşılamaya başlamıştır.

## 2.2 Termal Sprej Kaplama İşlemleri Ve Teknikleri

Termal sprej kaplama işlemleri özel bir isimlendirme olup, metal ve metal olmayan malzemelerin kaplama işlemlerinin gerçekleştirmek amacıyla kullanılır. Üç ana grupta ayrılmaktadır. Bunlar;

- Alev sprej işlemleri,
- Elektrik ark plazma sprej işlemleri,
- Plazma ark sprej işlemleridir.

Kaplanacak malzemeyi ısıya maruz bırakarak ergimiş ya da yarı ergimiş hale getirilmesi sayesinde ısıtılan partiküller yüksek hıza ulaştırılır. Hızlandırılmış bu partiküller bir taşıyıcı gaz ile birlikte ya da atomizasyon jeti kullanılarak kaplanacak olan malzemenin yüzeyine yüksek hızda fırlatılır. Partiküllerin yüzeye çarpmasıyla geometrisi değişerek yassılaştır ve yüzeye yapışması sağlanır. Bu işlemin tekrarlanmasıyla partiküller birikerek yüzeyde bir kaplama tabakası meydana getirirler. Splat adı verilen bu partiküller çok yüksek hızda 106 K/s soğuma hızına ulaşırlar (Bayrak, 2009).



Şekil 2.1: Termal sprej işleminin temel şeması (Bayrak, 2009).

Termal sprej kaplama işleminin avantajlarına bakıldığında, kullanılan malzeme türlerinin geniş bir çeşitliliğe sahip olması, altlık malzemeyi fazla ısıtmadan gerçekleştirilebilir olması, malzemelerin ısı distorsiyona uğramaması ve hasar görmüş ya da deforme olmuş malzemelerin yeniden kaplamasından sonra herhangi bir ölçüsel ve özelliklerin değişimine uğramaması görülebilir.

Malzemeye hangi termal sprej kaplamanın uygun olduğunun belirlenebilmesi için göz önünde bulunması gereken hususlar şunlardır;

- a) Ekonomik olması,
- b) Arzu edilen kaplama malzemesi seçimi,
- c) Yeteri kadar kaplama performansı,
- d) Parça boyutları ve portatifliğidir.

### **2.2.1 Alev Sprej Kaplama Tekniği**

İlk olarak 1910 yılında İsviçre’li bilim adamı olan Scnoop’ın alevle püskürtme tabancasını bulmasından sonra bulunduğu bu yöntem, 1945 yıllarına kadar pek bir gelişme sağlayamamıştır. Daha sonraki yıllarda ikinci dünya savaşı ile beraber özellikle Sovyet Rusya ve Çekoslovakya’nın önderliğinde alevle püskürtme konusunda çalışmalar artmıştır. Böylelikle günümüzde gelişen çeşitli yöntemler farklı türdeki endüstri kollarında geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur.

Alev sprej kaplama tel ve toz bulunan sistemlerde kullanılabildiği için diğer termal sprej kaplama yöntemlerine göre kullanımı basit ve ekonomik olmaktadır. Gaz olarak asetilen ve propan gazı kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan gazlar düşük basınç, düşük akış oranı ve düşük partikül hızlarının sağlayacaktır. Bu sebeple oluşan kaplamalar oldukça gözenekli ve bağ gücü minimum seviyede olmaktadır (Harvey, 1994).

Bu yöntemde oksijen-yakıt alevi yardımıyla, harcanabilecek tel veya toz ergitilir. Oksijen-yakıt alevi için 3300°C sıcaklığa sahip olan oksijen-asetilen yakıtları kullanılmaktadır. Ergitme sayesinde oluşacak alevin içinde tel, kontrollü bir seviyede ilerleyecektir. Sıkıştırılmış hava ile birlikte alt tabakanın üzerinde bulunan yarı sıvı veya tamamıyla sıvı parçacıkları hızlandırılan memenin dış çevresine doğru besleme yapılır.



Özet olarak anlatmak gerekirse, püskürtme işlemi, yüzeye kaplanması düşünülen tel veya tozların, püskürtme memesi içerisinde eritilerek kaplanacak olan alt malzeme yüzeyine püskürtülmesi biçiminde çalışması prensibine dayanmaktadır. En çok kullanım alanı aşınmaya maruz kalmış parçalardır.

Alevle spreyleme işleminde kullanılan tabanca, eritilen malzemenin fiziksel tipine göre şekillenecektir. Alevle spreyleme cihazının üç temel prensibi vardır, Bunlar;

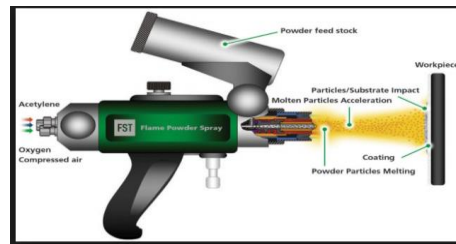
- Püskürtülecek malzemenin sevki,
- Telin bir gaz oksijen aleviyle eritilmesi,
- Erimiş telin püskürtülecek esas metale sevk (Kahraman, 2000).

Sevk edilen metalin şekli ve durumuna göre alevle spreyleme yöntemi, tel ile alev spreyleme ve toz ile alev spreyleme olmak üzere iki ayrı yönetime ayrılacaktır.

### 2.2.1.1 Toz İle Alev Spreyleme

Bu yöntemde spreylenecek olan toz malzeme, bir huni sayesinde tabancaya yerleştirilmektedir. Huni tabancadan bağımsız ya da bağımlı olarak ikiye ayrılabilir. Hava besleme sistemi, oksijen akıntısı veya çekim kuvveti gibi sebeplerden dolayı toz alevle taşınarak, alev tarafından tozun emilmesi sağlanır. Sıkıştırılmış hava jeti ve yanma gazları sayesinde kaplanacak malzemenin yüzeyine sevk edilecektir.

Toz ile alev spreyleme yöntemi, plazma spreyleme yöntemi ile karşılaştırıldığında çok basit ve çok ucuzdur. Fakat spreyleme hızı plazma spreyleme yöntemine göre daha da düşüktür. Donanım kolay taşınabilecek halde tasarlanabilir (Kahraman, 2000). Şekil 2.2’de toz ile alev spreylemenin şeması yer almaktadır.



Şekil 2.2: Toz alev spreylemenin şeması (Oğuz, 1993).

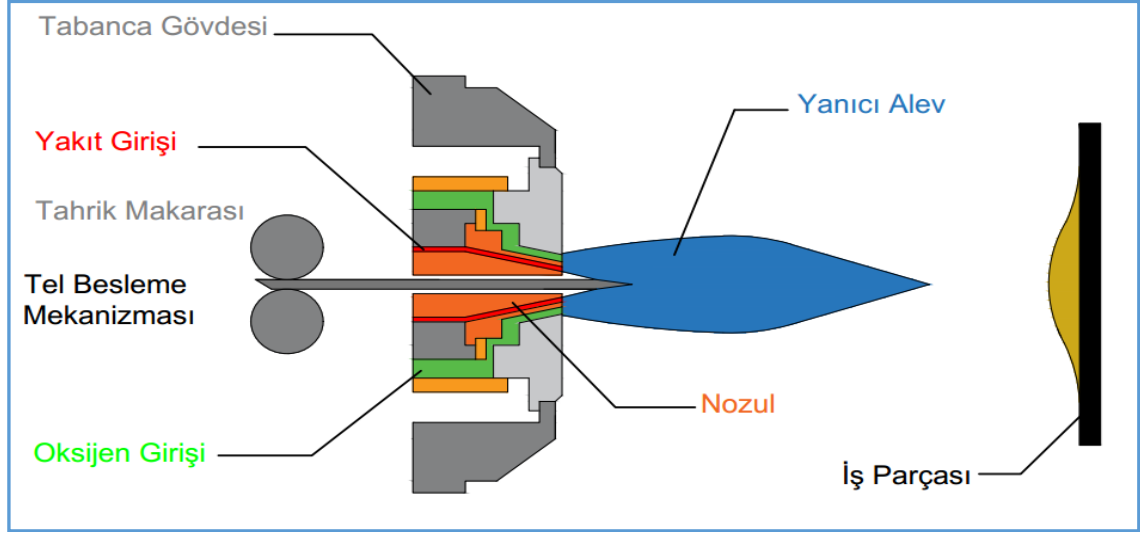
Oksi asetilen–kaynak torcuna benzer olmakla birlikte toz alev sprej tabancasıdır. Bu özel durumdur. Savaşlanması için spreylenecek toz, ucu terk etmeden önce yönlendirir. Burada sıkıştırılmış hava kullanılmasına gerek olmayacaktır. Eğer gaz akışı içine, toz enjekte edilmediği zaman torç devreye girecek ve sprej birikintilerini ön ısıtma veya eritme yapacaktır.

Toz ile alev sprejleme işlemleri metaller, seramikler ya da iki malzemedenden oluşan seramik metal karışımlarına uygulanabilir. Kullanılan sprej tozu parçacıkların ergime derecesi kaplama yapılacak malzemenin ergime noktası ve aynı süreçte parçacıkların alev sıcaklığına bırakılma zamanına bağlı olacaktır. Seramikler gibi yüksek ergime noktasına sahip tozlar yalnız parçacık yüzeyinde ergiyebilmesine rağmen, düşük ergimeli noktalı tozlar sıvı halde olabilirler.

### **2.2.1.2 Tel ile Alev Sprej Kaplama**

Tel ile alev sprej kaplama prensibinde, kaplanacak metal tel kesintisiz bir biçimde bir makara ya da halkadan geçerek tabancaya gönderilir. Bazen kesilmiş metal çubuklarda kullanılabilir.

Alev sprej tabancası, iş parçası tutma aleti, malzeme yüzey kaynağı ve besleme aletine bağlantısı, oksijen ve yakıcı gaz gereçleri, basınç manometresi ve flowmetre, gerektiğinde sıkıştırılmış hava kaynağı ve kontrol ünitesi gibi unsurlar tipik bir tel ile alev sprej kaplama düzenineğini oluşturan faktörlerden biridir. Tel ile alev sprej kaplama yönteminin şematik görüntüsü Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3: Tel alev spreyleme sistemi (Kahraman, 2000).

Teli besleyen sürme ünitesi ve sıkıştırılmış hava ve oksijen ve yakıt gazının akışını kontrol eden gaz başlığı olmak üzere iki parçadan ve tel kullanılan tabanca oluşur. Tel kullanılan tabancaların çalışma prensiplerini incelediğinde birbirinden farklı olmadığını görülür. Motor ve sürme çubuklarını tel sürme ünitesi kaplar ve hız kontrolleri mekanik, elektromekanik, elektronik veya pnomatik olarak seçilen güç ünitesine göre farklılık olarak tercih edilebilir.

Yakıt gazı, oksijen ve sıkıştırılmış hava kontrol etmeye yarayan vana, gaz memesi ve hava kapağı hep birlikte gaz başlığını meydana getirir. Tel numunedeki merkezi orifise doğru gönderir. Farklı tel boyutları ve metallerini kullanılabilmesi için çeşitli memeler ve hava kapakları kullanılabilir (Kahraman, 2000).

Toz alev spreyleme yöntemi ile karşılaştırıldığında, daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir ve oldukça ekonomiktir.

### 2.2.1.3 HVOF (High-Velocity Oxyfuel) Kaplama

Bu yöntem, yüksek hızlı-oksi yakıt püskürtme tekniği olarak da isimlendirilebilir. Bu yöntemde kullanılan propan ya da hidrojen gibi yanıcı gazların, yüksek basınç odasına sevk edilerek yakılması sağlanır. Yüksek basınç odasındaki basınç sayesinde partiküller ses hızının üzerindeki bir hızla kaplanacak malzemenin üzerine sevk edilir. Bu yöntem genellikle 3000 Kelvin sıcaklığın altındaki toz malzemelerin kaplanması işlemi sırasında

uygulanır.

Diğer yöntemlere göre HVOF kaplamada alev hızı daha yüksektir. Dolayısıyla alev hızının yüksek olması sayesinde kaplama tabakası daha az gözeneğe sahiptir. Bu sebeple kaplamanın bağ mukavemeti yüksektir. Yöntemin dezavantajları ise diğer ısıl kaplama sistemlerine göre maliyetinin fazla olması, alevin uzun mesafelere kadar etkili olması nedeniyle kaplanan yüzeyinin kimyasal özelliklerini değiştirmesi, plastikler gibi kolay eriyen malzemelere uygulanmaması gösterilebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: HVOF kaplama yönteminin uygulanışı (Yonar, 2009).

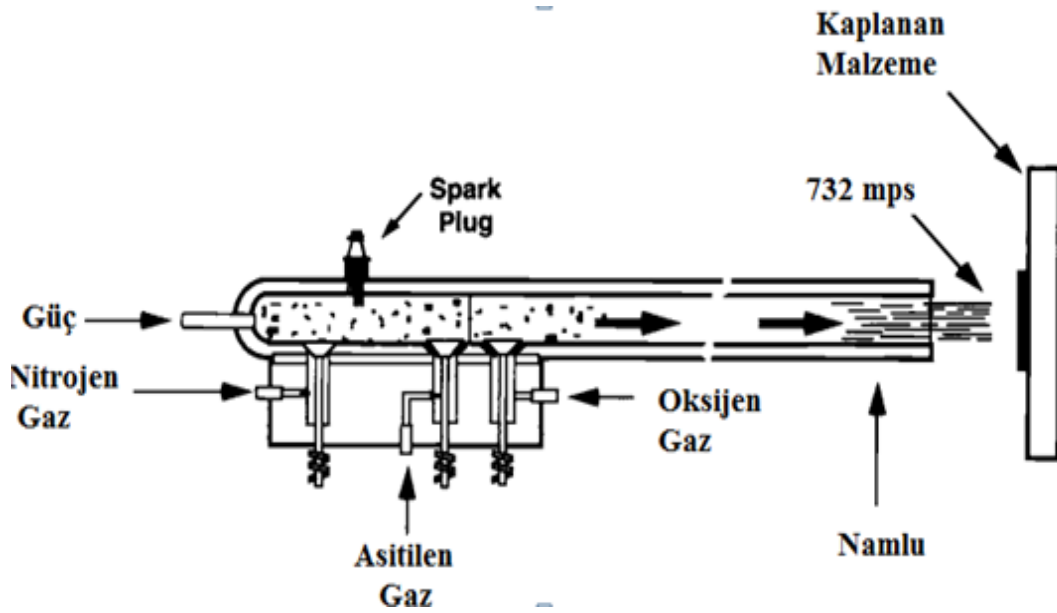
Bu yöntem çoğunlukla aşınma ve erozyon direnci yüksek olması gereken malzemelerde, özellikle WC, CrxCy ve süper alaşım kaplamalarda, uçakların türbin kanatçıkları, uzay ve uçak sanayide, otomotiv sektöründe, kağıt endüstrisinde, aşınma şartları altında çalışan şaftlarda, kimyasal rafineri tesislerin kazanlarında, nükleer reaktörlerde, tıbbi implant uygulamaları, öncelikli kullanım alanları arasındadır. Karbür esaslı malzemelerin kaplamalarının oluşturulmasında da HVOF yöntemi yüksek oranda kullanılır (Zağlı, 2010).

### 2.2.2 Patlama Tabancası ile Sprey Kaplama

Bu yöntemde oksijen ile çoğunlukla kullanılan yanıcı bir gaz olan, asetilen gazı kullanılarak 1 mm uzunluğunda ölçülere sahip bir kovan içine besleme tozu koyularak bir karışım üretilir. Bu karışım bir kıvılcım ile birlikte ateşlenir. Böylece kontrollü bir patlama oluşur ve bu patlama namlu boyunca hareket eder. Yüksek sıcaklık ve basınç ile birlikte

namlu ucundan kaplanacak altlık malzeme yüzeyine doğru parçacıklar sevk edilir. Çok yüksek yoğunluğa ve bağlama mukavemetine sahip olması, düşük oksit içeriğini içeriyor olmasından dolayı bu kaplama yöntemi tercih edilmektedir (Davis, 2004).

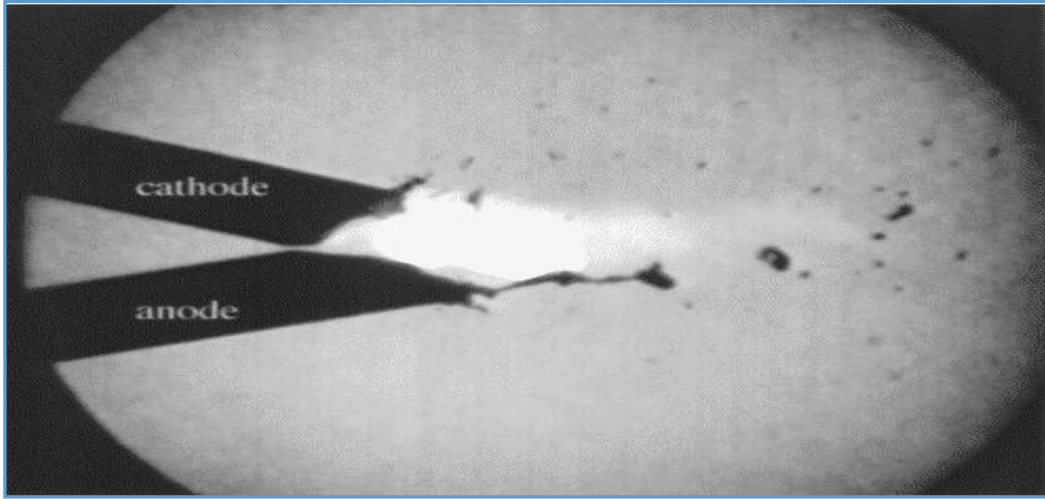
Bu yöntemde kaplamalar yüksek bağ mukavemetine, diğer kaplama yöntemlerine göre daha düşük gözenekli yapıya sahiptir. Bu yöntemde en çok dikkat edilmesi gereken husus ise, gazların kontrollü bir biçimde kullanılıyor olmasıdır. Kullanılmadığı durumda metal ve karbürlerin oksidasyonuna sebebiyet verecektir. Ekonomik, uzun ömürlü ve en zorlu uygulamalar için kullanılabilir (Tucker, 1994).



Şekil 2.5: Sprey tabancası ile kaplama yanıl kesiti (Tucker, 1994).

### 2.2.3 Elektrik Ark Sprey Kaplama Tekniği

Yöntem, yüksek akımlı enerji kaynağına iki telin bağlanması prensibine dayanır. Teller tabancaya yüklenir. Tellerin birbirine temas noktasında bir ark açığı çıkar. Açığı çıkan bu ark sayesinde tellerin ucu ergitilir. Basınçlı hava ile birlikte ergimiş metal parçacıklar birbirinden ayrılır ve kaplanacak malzeme yüzeyine sevk edilir (Kaptan, 2012, Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Elektrik ark püskürtme yönteminin şematik gösterimi (URL-1, 2017).

Elektik ark püskürtme yönteminde giren bütün enerji metali eritmek amacıyla kullanılmaktadır. Dolayısıyla enerji etkinliği yüksektir. Yüksek hızlı hava jetleri, tellerin keşişim bölgesi arkasında yer almaktadır. Püskürtme hızını, birincil uygulanan akım, kullanılan malzemelerin ergime noktası, elektrotların iletkenliği gibi faktörler etkilemektedir.

Bu yöntemde inert gaz kullanılarak kontrollü bir atmosfer gerçekleştirilebilir. Ayrıca sıcak gaz jeti doğrudan altlık malzemeye etki etmediğinden, altlık malzemenin sıcaklığı az olacaktır.

Kullanılan teller, tel ile alev spreyleme yönteminde kullanılan tellere benzer olup, yöntem tel alev spreyleme yöntemi ile karşılaştırıldığında, çökme hızının yüksek olması, maliyetin düşük, kaplamanın oksit miktarının az ve yüksek bağ mukavemetine sahip olması nedeniyle bir takım üstünlükler sağlamaktadır.

#### **2.2.4 Plazma Sprey Kaplama Yöntemi ve Plazmanın Tanımı**

Alev sprej ve ark sprej kaplama yönteminden sonra plazma sprej yöntemi geliştirilmeye başlanılmıştır. 1960 yıllarının başlarında ise bu prosesle ilgili araştırmalar daha yüksek derecede bir önem kazanmıştır.

Plazma maddenin dördüncü halidir. İçerisinde elektron, iyonik molekül, nötr atom, foton

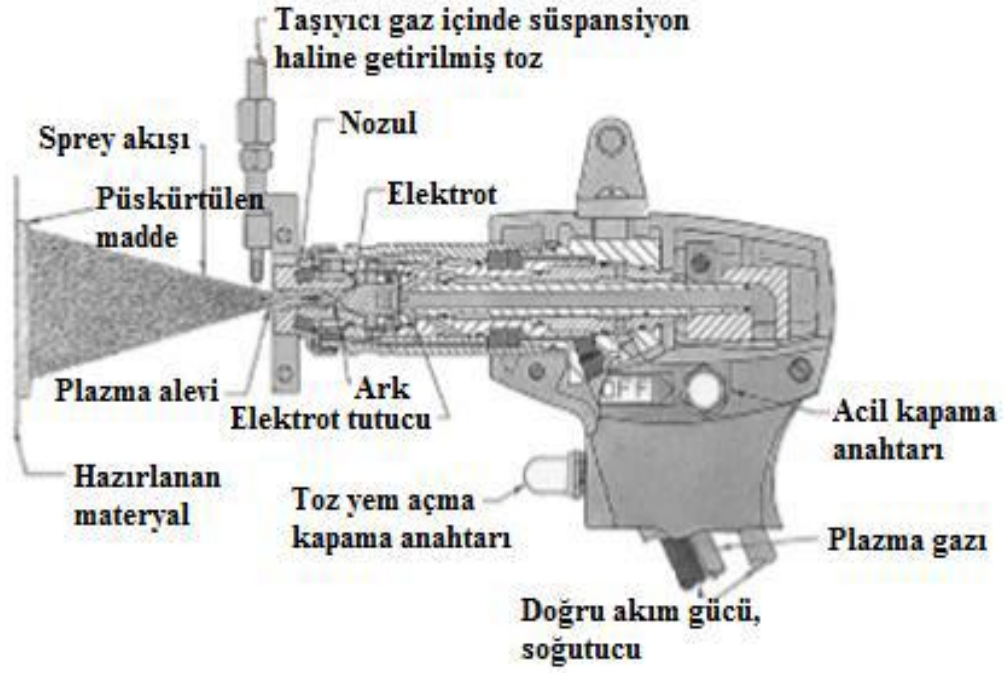
karışımını bulunduran karmaşık bir yapıya sahiptir. Elektrik ve ısıyı iyi iletir. Dış ortama karşı nötrdür. Yüksek sıcaklık ve enerji özelliklerine sahiptir.

En yaygın olarak plazma, elektrik enerjisiyle oluşturulmaktadır. Buna ilave olarak manyetik, mekanik, ısı ve ışın enerjisiyle de plazma elde edilebilmektedir (Islak ve Buytoz, 2011).

#### **2.2.4.1 Atmosferik Plazma Sprey Kaplama**

Ergimiş ya da yarı ergimiş metalik veya metalik olmayan malzemelerin, kaplanacak olan altlık bir malzemenin üzerine biriktirilmesiyle oluşan termal spreyc yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntemde altlık malzeme soğutma sistemleri ile birlikte düşük sıcaklıklarda dayanabilmektedir (Yeşildal ve Günay, 2007). Hava ile temas halinde iken uygulanabildiği için bu yöntemde atmosferik plazma spreyc yöntemi de denilmektedir. Bu yöntemde de plazma arkının sıcaklığından oluşan ısı sayesinde kaplanacak olan altlık malzemenin yüzeyi ergimiş hale getirilir. Ark plazma kuvveti yardımıyla su soğutmalı bakır borular içinde, plazma arkı elektrik arkının yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Plazma kuvvetiyle doğru orantılı olarak arkın akış yoğunluğu da aynı miktarda doğru orantılıdır. Yoğunluğu artan ark sayesinde plazma spreyc kaplama yöntemi, metallerin şekillendirilmesi veya kaplanması için kullanılmaktadır (Kurbanoglu ve Özkavak, 2013).

Plazma prosesinin ekipmanları plazma spreyc kaplama tabancası, güç kaynağı spreyc malzemesi gibi araçlardır. Şekil 2.7’de plazma spreyc tabancası şematik olarak belirtilmektedir.



Şekil 2.7: Plazma sprej kaplama tabancası şematik gösterimi (Davis, 2004).

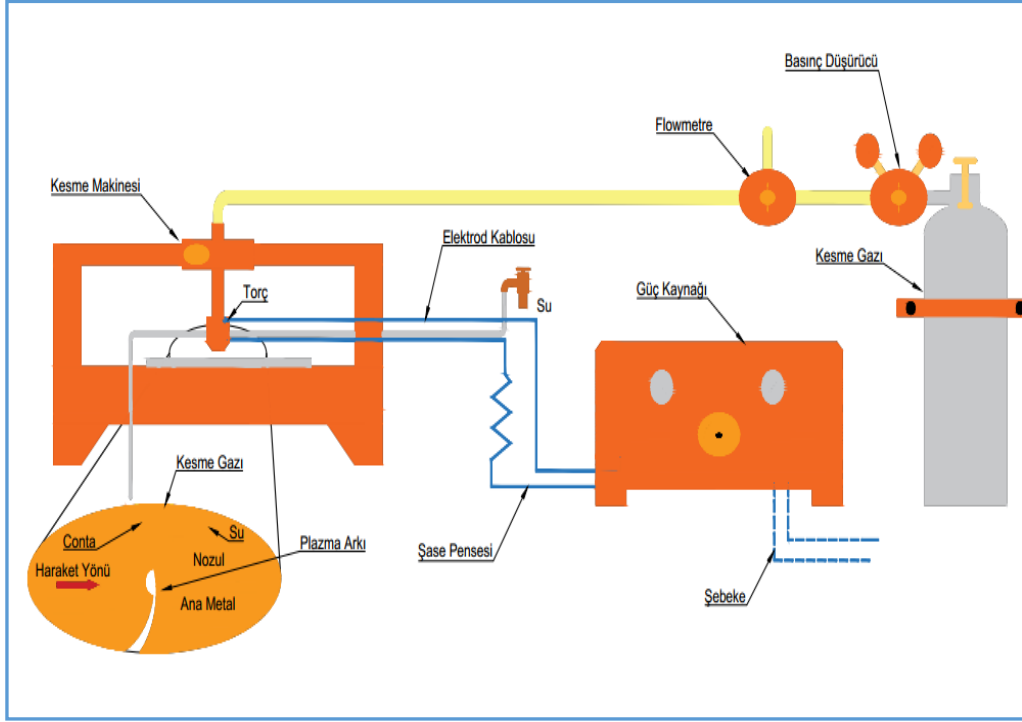
Plazma sprejinin ana fikri, maliyeti ekonomik seviyede olan düşük bir altlık malzemenin üzerine aşınma direnci yüksek ince bir tabaka ile kaplamasıdır. Yöntemin prensibi ısı ile birlikte iyonize olmuş bir gazın içeriğinde bulunan erimiş toz malzemenin, yüksek sıcaklık ve hız ile birlikte kaplanacak olan altlık malzeme yüzeyine püskürtülmesi prensibine dayanır.

Sprej kaplama yönteminin kalitesini etkileyen parametreler, çevre koşulları, toz partiküllerin birbirleri arasındaki etkileşimi, tozun şekli, tozun boyutu, plazma alevi ve alev hızı ve tozun kimyasal bileşimidir (Davis, 2004).

Plazma sprej kaplama makinesi birçok ünitenin birleşmesinden meydana gelir. Bu üniteler gaz ünitesi, toz besleme ünitesi, güç ünitesi, soğutma ünitesi, püskürtme ünitesi ve kontrol ünitesi olarak adlandırılır. (Dorfman, 2012).

Şekil 2.8’de plazma sprej kaplama prosesinin şematik gösterimi verilmiştir.

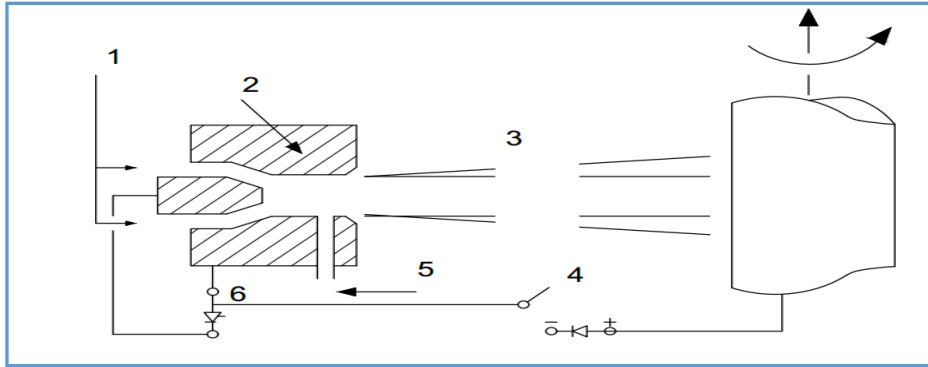




Şekil 2.8: Plazma sprey kaplama yönteminin şematik gösterimi (Dorfman, 2012).

#### 2.2.4.2 Vakum Altında Plazma Sprey Kaplama

Vakum altında plazma sprey kaplama yönteminin ilk kullanımı 1974 yılında E. Muehlberger adlı bir bilim adamı ile başlamıştır. Atmosferik plazma sprey kaplama yönteminden farkı kaplamanın vakum altında yapıyor olmasıdır. Bu yöntem atmosferik plazma sprey kaplama yöntemine göre çok daha zor bir yöntemdir. Bunun sebebi vakumu oluşturmak ve oluşan bu vakumu sabit bir değerde kalması gerekiyor olmasıdır (Davis, 2004). Şekil 2.9'da vakum plazma sprey kaplama yöntemi görülmektedir.

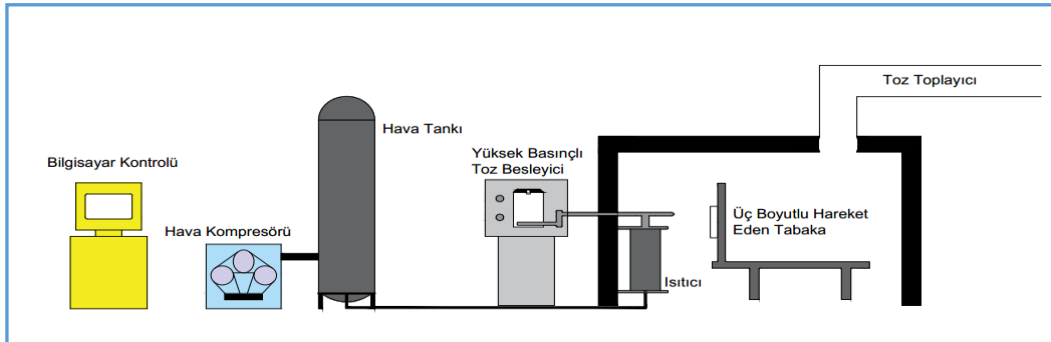


Şekil 2.9: Vakum plazma sprey kaplama yönteminin şematik gösterimi. 1) Çalışma gazlarının girişi, 2) Anot, 3) Akım çemberi, 4) Ark üretici, 5) Toz giriş kısmı, 6) Plazma üretici (Davis, 2004).

Bu yöntemde vakum altında tozlar plazma jetine gönderilerek kaplama işlemi gerçekleştirilir. Sistemde negatif kutbu ark, pozitif kutbu ise kaplanacak yüzeyin altlık malzemesi oluşmaktadır. Bu sistemde arkın görevi, arkın ivme kazanmasıyla kaplanacak olan malzemenin yüzeyinin temizlemesini bununla beraber altlık malzemenin ısınmasını sağlamaktır. Spreyde kutlanılan partiküllerin en önemli özelliği ise yüksek kinetik enerjili olmasıdır. Dolayısıyla kaplanacak olan yüzey bu yüksek kinetik enerji sayesinde düşük poroziteli olarak meydana gelir (Dorfman, 2012).

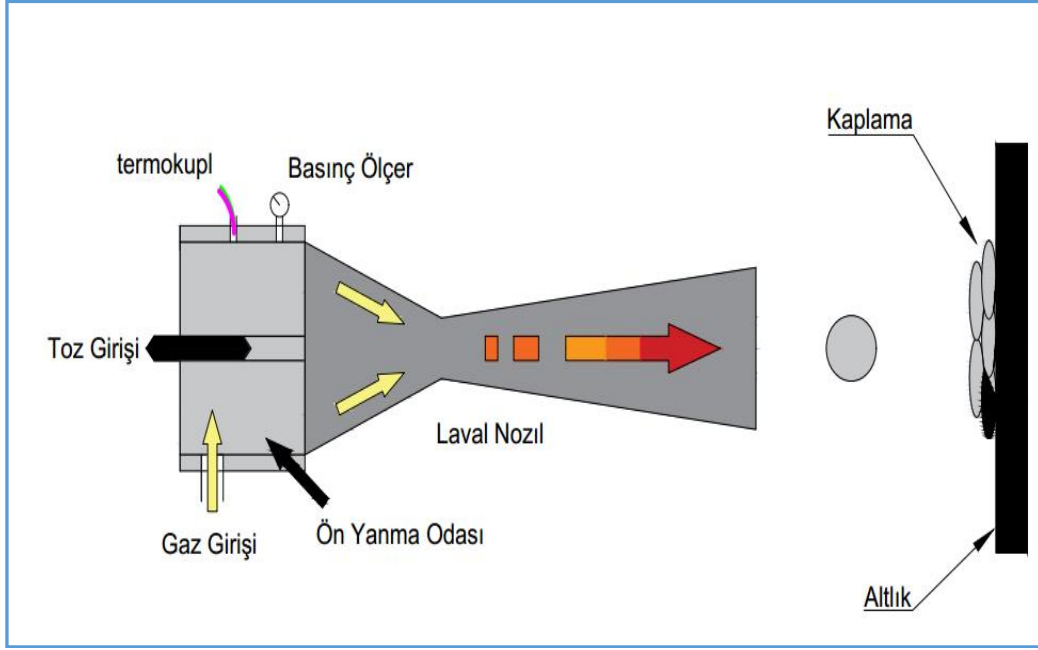
### 2.2.5 Soğuk Sprey Kaplama

Soğuk dinamik gaz sprej olarak da anılmaktadır. Bu yöntem Anatolii Paapirin ve ekip arkadaşları ile birlikte 1980'li yıllarda geliştirilmiştir. Bu yöntemle çok sayıda metal alaşımların, saf metallerin, polimerlerin ve kompozit malzemeler çeşitli altlık malzemeler üzerine kaplama yapılabilir. Şekilde 2.10'da soğuk dinamik gaz püskürtme tekniği için kullanılacak ekipmanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.10: SGDP tekniği ekipmanlarının şematik gösterimi (Yumuşak, 2012).

Soğuk sprej kaplama yönteminin esası, katı halde olan tozların herhangi bir ergime işlemine girmeden malzeme yüzeyinde biriktirmesidir. Yöntemin çalışma prensibi, genellikle kaplanacak olan 50 µm partikül boyutundaki tozlar sıkıştırılmış gaz ile birlikte yüksek hıza sahip gaz akımına iletilir, ve bu sayede ses üstü hıza ulaşır. Yüksek hızda gaz akışı laval tipi nozul içerisinden geçirilmesiyle meydana gelir. Laval tipi nozulun şematik gösterimi gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Laval tipi nozulün şematik gösterimi (Yumuşak, 2012).

Başlangıçta ayrı bir gaz akımı yardımıyla taşınan tozlar nozula ulaşır. İletilen bu tozlar ana gaz akımı ile birlikte hızlandırılır ve nozuldan uzaklaşır. Ayrılan bu tozlar altlık yüzeye yapışır. Ses hızını geçerek yüzeye çarpan bu toz partikülleri, plastik deformasyona uğrayacaktır ve böylelikle altlık yüzeye yapışacaktır. Kaplama süresince tozlar altlık yerine yüzeye yapışan malzeme (kaplama) ile bağ oluşturmaya devam eder. Sonuç olarak altlık malzemesine iyi yapışan, homojen ve düşük poroziteli istenen kalınlıkta kaplama elde edilir (Yumuşak, 2012).

## BÖLÜM 3

### YÜKSEK HIZLI ÇARPMA MEKANİĞİ

Araştırmalarda, yüksek hızlı çarpma mekaniği hakkında çeşitli çalışmalar vardır. Çarpma mekaniğinin amacı deformasyon oluşturmak, yani penetrasyon ile biten çarpmalar, yüksek hızlı çarpma olarak belirtilirken, penetrasyonun oluşmadığı çarpmalar düşük hızlı çarpma olarak araştırılır.

Balistik çarpmalar hakkındaki araştırmalarda, merminin sahip olduğu son hızının doğru bulunması yüksek önem arz eden bir husustur. Bu sonuç, genellikle deneysel araştırmalarda belirlenmesi oldukça zordur. Çünkü hedefe ait parçacıklar ve mermi penetrasyon sırasında yayılma gösterir. Bu parçacıklar, hız ölçümü yapılan test cihazlarını uyarabilir ve verilerde yanlış sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Bu nedenleri ortadan kaldırmak için yapılan işe uygun ölçme mekanizmaları üretilmiştir.

Çarpma esnasında karşılaşılan problemin çözüm yöntemi üç ayrı biçimde gözlemlenebilir: Birincisi yüksek miktarda verisel bilgiye ulaşıp birbirleri ile birleştirilmesidir. Bu yöntem belirli şartları barındıran problemin çözümü için uygun olarak bilinsede, verisel bilginin ulaşıldığı şartların olmadığı problem alanlarında gerçekleştirmeye çalışmak yeterince zor olurayrıca çözümü bulunmayacak konuma getirir.

İkinci yöntem çarpmanın sayısal benzetimi için mühendislik modeli üretmek ve bunları kullanabilmektir. Bu yaklaşım karmaşık, farklı hasar türlerine sahip, basit tek boyutlu problemlerden, üç veya iki boyutlu çarpma problemlerine kadar değişik sahalarda gerçekleştirilebilir.

Üçüncü yöntem ise yapıyı küçük parçacıklara bölerek temel denklemin her parçacık için farklı farklı uygulanmaya dayalı olan diskritizasyon yöntemidir. Her yöntemin kendine göre güçlü ve zayıf yönleri vardır. Her üçünün de beraber kullanılması, sadece biri ile karmaşık bir problemin çözümü istendiğinde ölçümde olumlu sonucu vermeyebileceğinden, daha doğru sonucu verecektir (Zukas, 1990).

Analiz sonuçları ve deney ile gerçekleştirilen iterasyon, penetrasyon için model geliştirmek için kullanılan en çok kullanılan ve deneysel araştırmalarda, modeli şekillendiren önemli bir yöntemdir. Deneylelerden ve modelden ulaşılan sonuçlar birbirine yakın ise kurulan modelin başarı ölçüsü o kadar yüksektir. Yoksa model hatalı olacaktır.

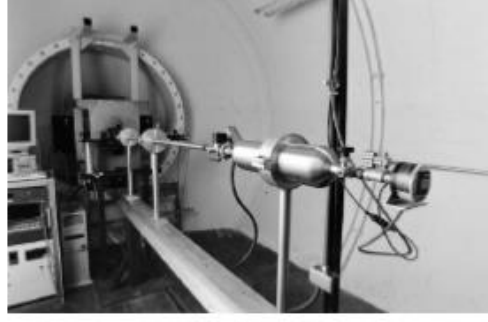
Yüksek hızlı çarpmanın olduğu bir zırh ile alakalı olarak gerçekleştirilecek analitik bir araştırmada, problemlerin kavranabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken, öncelikli olarak çarpma sırasınca hedefe etki edecek yüklerin beline bilmesini sağlayacak bir model oluşturmaaktır. Oluşturulan merminin hareketlerini ve model hedef ve hasar oluşumlarını doğru biçimde gösterebilmelidir. Böylelikle hedefin dinamik davranışları doğrulukla belirlenebilir. Birçok araştırmada, yapının hareketini modellemek için sanki-durağan yaklaşımından ve sistemdeki toplam enerjinin korunumu ilkelerinden faydalanabilir. Ek olarak daha karmaşık plak kuramları ve iki veya üç boyutlu elastikiyet modelleri de kullanılabilir.

Yüksek hızlı çarpma ile ilgili araştırmalarda, enerjinin korunumu fiziksel denklemlerin gerçekleştirilmesi için temel hareket noktasıdır. Bir merminin sahip olduğu kinetik enerji, çarpmanın ilerleyen bölümlerinde büyük miktarda deformasyon enerjisi olarak hedefe devredilir. Bu açıdan, yapılan araştırmaların önemli bir bölümünü, hedef plağın çarpma yükleri altında gösterdiği enerji emiş davranışlarını verir. Farklı bir maddenin bir yapıya çarpması, malzemenin mukavemetini sınırlandıran bir hasara sebep olur. Bu açıdan, çarpmaya maruz kalan bir yapının dinamik yükler altındaki davranışları iyi araştırılmalıdır. Bazı çarpmalar küçük bir alanda hasara sebep olurken, bazıları da yapının tamamını etkilemektedir. Kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine ve çarpma şartlarına bağlı olarak birbirlerinden çok farklı hasar türleri meydana gelebilir.

Yapılan araştırmaların sonucunda elde edilen verilerin deneysel sonuçlarla uyumlu olması ve yapının dinamik yükler altındaki davranışlarının iyi idrak edilmesi gerekir. Günümüzde, değişik tipte çarpmaların benzetiminde kullanılacak çeşitli test türleri vardır. Düşük hızlı çarpmalar için genellikle büyük bir ağırlığın düşük hızlarla yapı üzerine düşmesi şeklinde çalışan “ağırlık düşürme cihazları kullanılmaktadır. Yüksek hızlı çarpmalar için ise düşük ağırlıkta bir cismin, hava ile çalışan “gaz tabancası ile hedef üzerine yüksek hızda gönderilmesi esasına dayanan test yöntemleri kullanılır.



a)



b)

Şekil 3.1:Yüksek hızlı çarpışma mekaniği test cihazı (Özşahin, 2003).

Araştırmanın ana bölümünü oluşturan parametrelerdeki değişimlerin belirlenmesini sağlayacak ölçme sistemleri de test düzenekleri içinde bir olarak incelenmelidir. Matematiksel modelden ve deneylerden bulunan sonuçların kıyaslanmasında, modelde kullanılan yaklaşımın doğruluğunun irdelenebilmesi için uygun deney sisteminin belirlenmesi önemlidir.

Bahsi geçen bu yöntemlerin, bilimsel çalışmaların tümünde olması gerektiği gibi, doğadaki gerçek durumu ile irdelenerek doğruluğunun test edilmesi gerekir. Yöntemin güvenilirliği, bir tek bu şekilde neticelenebilir. Bu aşamada, deneysel araştırmalar sonucunda elde edilmiş bulguların varlığı büyük önem taşımaktadır (Özşahin, 2003).

## BÖLÜM 4

### LİTERATÜR TARAMASI

Yakın geçmişimizde, farklı mühendislik çalışmalarında yüksek hızlı çarpma mekaniğini görmek mümkündür. Havacılık ve savunma sanayi bunun en önemli örneklerindedir. Yüksek hızlı çarpma mekaniği ile ilgili çok az çalışma yapılmıştır. Bunun nedeni ise deney şartlarının zorluğu ve yüksek hızlı çarpma mekaniği ile ilgili verilerin azlığıdır. Bugüne kadar gerçekleştirilmiş olan çalışmaların birçoğu geleneksel olan malzemelerin yüksek hızlı çarpma mekaniği şartları altında farklı özellikler gösterdiği (Özşahin, 2003).

SHPB (Split Hopkinson Pressure Bar-Ayrık Hopkinson Basınç Çubuğu) ile 600K ve oda koşullarındaki sıcaklıklara maruz kalan Tantal numunelerin mikro yapıları, yüksek kayma birim şekil değiştirme sonucunda incelenmiştir. Bu çalışmada belirli bir ekseninde birikmiş baskın hasar mekanizmalarının ve kayma gerilmesinin ortaya çıktığı görülmüştür (Nemat-Nasser vd., 1998).

Molibdenin farklı plastik davranışı yüksek ve düşük birim şekil değiştirme hızlarında deneysel olarak araştırılmış ve bu sonuçlar ile birlikte malzemenin dinamik davranışlarını açığa çıkaran bünye denklemlerini geliştirmişlerdir (Cheng vd., 2001).

Konik uca sahip sertleştirilmiş çelik delicilerin çarptırılması sonucunda 15~30 mm kalınlıklardaki alüminyum (AA5083-H116) parçaların dirençleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, delici cismin sahip olduğu hızları yüksek hızlı kamera ile belirleyerek alüminyum parçaların balistik değerleri ortaya çıkarılmıştır (Börvik vd., 2004).

Farklı bir araştırmada ise en yüksek balistik değer küresel paralarda gözlemlenmiştir. Delicilik özelliği yüksek olan parçaların konik parçalar olduğu tespit edilmiştir. Küt parçalarda ise ihtiyaç duyulan kinetik enerji miktarının az olduğu tespit edilmiştir (Gupta vd., 2006; Gupta vd., 2007).

Alüminyum parçaların dinamik yükleme şartlarındaki davranışlarının veriler ile

incelenmesi için Johnson-Cook bünye denklemi katsayıları elde edilmiştir. Gerçekleştirilen verisel model ile ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı sonuçlarının deneyde elde edilen sonuçlar ile eşdeğer olduğu görülmüştür. Farklı şekillerdeki çelik delicilerin AA 6061 T651 parçaların üzerindeki yüksek ve orta hızda çarpma davranışları izlenmiştir (Piekutowski vd., 1999; Forrestal, 2000; Warren, 2001).

Çelik parçalar üzerine farklı şekillerdeki çelik delicilerin çarptırılması sonucu oluşan davranışlar incelenmiştir. Küresel ve konik delicilere oranla küt deliciler düşük hızlarda çarptığında daha olumlu sonuçlar vermişlerdir. Konik delicilerin çarpma hızının artması sonucunda düşük enerji ile deforme ettiği görülmüştür. Araştırmada 2- boyutlu inceleme yapıldığında, metal parçalara konik ve küresel delicilerin boyutları küçüldükçe, sayısal sonuçların olumlu olduğu gözlemlenmiştir (Børvik, 2002a; Børvik 2002b).

Malzemenin mukavemeti ile çarpma dayanımı arasındaki ilişki delici malzemeler için farklı formlar kullanarak incelenmiştir. Araştırmada balistik sınırın azalmasıyla malzeme mukavemetinin artması küt formlar için söylenebilir. Farklı türdeki küresel ve konik yapılarda tam tersi bir sonuç görülmüştür (Dey vd., 2004).

Bilim insanları farklı delici şekilleri ile birlikte çarpma açısının etkisini incelemiştir (Gupta vd., 1997; Nesterenko, 2003; Chen, 2003; Warren, 2004; Littlefield, 2006). Mermi özelliğide yüksek hızla çarpma sırasında çarpan cisim ve parça davranışı ile aynı öneme sahiptir. Bu araştırmada, gerçekleştirilen incelemelerde mermi rijitliği önemli bir etkidir. Literatür araştırmalarında metal parçalara farklı açılar ile çarpan rijit mermiler ve metal parçalarda meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir (Roisman, 1997; Yossifon, 2001; Yossifon, 2002; Chen, 2003; Li, 2004; Wijk, 2005). Kalın metal parçaların daha çok araştırmalara konu olduğu görülmüştür (Liu, 2000; Roisman, 2001; Rubin, 2002; Gee, 2003).

Pereira ve Lerch balistik özellikleri ve ısı ile olan etkilerini incelemiştir. Farklı yaşlandırma ve tavlama işlemleri incelendiğinde araştırmada yaşlandırılan ve tavlanan malzemelerin statik davranışı arasındaki fark görülmüştür. Tavlanan malzemelerde sertlik ve mukavemet değeri yaşlandırılana göre daha düşük gözlenirken tavlama işleminde ise kopma uzaması yüksektir. 150~300 m/s arasında deneylerde çarpma hızlarında yapılan yüksek birim şekil değiştirme aynı sonucu vermiştir (Pereira ve Lerch, 2001).



Yadav ve Ravichandran 6061-T6 alüminyumundaki meydana gelen delinme miktarını belirlemiş ve katmanlı yapıdaki çarpma dayanımını arttırmıştır. Yapıda toplam balistik dayanıma oluşan ve arka katmanda harcanan ürünün etkileri araştırılmıştır (Yadav ve Ravichandran, 2003).

Farklı bir araştırmada, 7.62mm zırh delici mermi çarpmasına karşı değişik konfigürasyonlardaki koruyucu sistemlerin etkinliği incelenmiştir. Bu sistemler AA 2024 T4 malzemesinden oluşan bir bloğun tek başına ve alümina seramik ön katman ile beraber kullanıldığı değişik çarpma açılı durumları bulundurmaktadır. Balistik etkinlik, hem analitik yöntemle hem de bilgisayar destekli eksplisit sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmıştır. Ek olarak veriler literatürde bulunan veriler ile de onaylanmıştır (Evcim vd., 2008).

Askeri bölgedeki hızlı gelişmelere göre balistik özelliklere sahip giysiler önem kazanmıştır. Askeri tekstil malzemeler için fonksiyonel özelliklerden biri balistik korumadır. Bu giysilerin özelliği insana zarar vermemesi açısından delici malzemeleri absorbe edebilmesidir. Balistik darbeye karşı koruma sağlayan yüksek mukavemete sahip tekstil parçaları zırhlar hava ve kara araçlarının geniş kullanım alanı vardır. Balistik giyside gramajı ve sıklığı, lifin yüksek mukavemeti, elastikiyete özelliği, yüksek modülü, lif cinsi, katman sayısı, enerji absorpsiyonunu etkileyen başlıca etkenlerdendir. Ticari açıdan polietilen liflerinde önemi artmıştır. En çok tercih edilen lif pono-aramid lifdir. Balistik uygulamalar için kullanılan lifler PPO ve PBO, tam aromatik poliester liflerdir. Bunun haricinde, örümcek ipeği lifi ve nanotüp malzemeler araştırmaların yoğun olduğu yeni malzeme alanlarıdır. Tekstil malzemelerinin balistik koruması tekstil parçalarında ürünün ve liflerin balistik özelliğinin karşılaştırılması için veriler sağlamaktadır (Çay vd., 2016).

Gözenekli bor karbür altlık malzemelere 2024 alüminyum alaşımının argon ortamında basınçsız şekilde nüfuz ettirilmesi yöntemi ile Bor karbür-alüminyum kompozitleri elde edilir. Kompozitlerde ki metal-seramik oranı emdirme koşulları, emdirme öncesi ısıl çevirimler, dağılım, başlangıç tozlarının tane boyut ve emdirme sonrası ısıl çevirimler ile ayarlanarak kompozit malzemelerin balistik, içyapı ve mekanik özellikleri geniş alanda incelenmiştir. Mekanik ve içyapı özellikleri optimize edilen, 1 cm kalınlığındaki cam elyaf örgülü destek plakası kalınlığı ortalama 1 cm olan kompozit plakaları ile birleştirilerek

oluşan zırh sistemi, askeri standartlara göre gerçekleştirilen balistik testlerde 4. Seviye tehditlere (hızı 800-840 m/sn olan tungsten çekirdekli mermi) karşı tam koruma oluşturmaktadır (Arslan vd., 2006).

Savunma ve havacılık sanayi için kompozit malzeme teknolojileri ile yüksek özgül mukavemet içeren hafif malzemeler üretilmektedir. Rekabet içerisinde olan ülkeler savunma ve havacılık sanayinde, olgunluk düzeyindeki farklılıkları ve kompozit malzeme teknolojilerinde meydana gelen sonuçları takip etmelidir. Araştırmada, savunma ve havacılık sanayinin, kompozit malzeme pazarı açısından önemi literatürde incelenmiştir. Bu araştırmada, Vizyon 2023 Savunma Havacılık ve Uzay Sanayi Paneli Raporu'nun savunma ve havacılık sanayisindeki etkileri değerlendirilmiştir. Açık kaynaklardan ülkemizde kompozit malzemeler hakkındaki yapılan tez ve proje çalışmaları araştırılarak incelenmiştir. Geleceğimiz de savunma ve havacılık sanayisinde kullanılma ihtimali olan, gelişmeler aşamasında kompozit malzeme teknolojisi incelenmiş ve teknolojik olgunluğun belirlenmesine yönelik özgün bir teknoloji incelenme yöntemi sunulmuştur (Yılmaz vd., 2017).

Diğer bir araştırmada, geniş bir alanda kullanım sahası bulunan ve savunma sanayisinde kullanılmasında avantajlı özellikler sunan magnezyum alaşımlarının incelemeleri yapılmıştır. Magnezyum alaşımları geniş kullanım alanına sahip olan seramik, alüminyum alaşımları ve kompozit malzemelerin yanında her geçen gün uygulama alanları artmaktadır. Bu araştırmada, magnezyum alaşımlarının özellikleri diğer metalsel malzemelerle karşılaştırılmış ve kullanıldığı uygulama alanları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ek olarak savunma sanayinde magnezyum alaşımlarının kullanım alanları ve bu alanlardaki olası artışlar ile kazanımlar hakkında bilgi verilmiştir (Demirci vd., 2015).

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE METOD

#### 5.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, AA 7075 alaşımının yüzeyi Atmosferik Plazma (APS) yöntemi kullanılarak krom oksit  $Cr_2O_3$ , alüminyum oksit  $Al_2O_3$ , zirkonyum oksit  $ZrO_2$  ve  $Al_2O_3+Cr_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  tozları ile kaplanmıştır.  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  tozları ile kaplama işlemi sandviç şeklinde alt yüzey malzemesine uygulanmıştır. Önce  $Al_2O_3$  tozları atıldıktan sonra üzerine  $Cr_2O_3$  tozları atılmıştır. Kaplama işleminden sonra numunelere standartlar dahilinde balistik davranışları incelenmiştir. Atışlar 25 m mesafeden Baretta marka tabanca ile 7,62 mm mermi kullanılarak açık hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Mermi hızı silah test üretim verileri kullanılarak 300 m/sn olarak belirlenmiştir. Yüksek hızda gerçekleştirilen çarpma testleri sonrasında malzemedeki plastik deformasyon değişiklikleri gözlemlenerek rapor edilmiştir.

#### 5.2 Alt Yüzey Malzemesi

Deneyleerde alt yüzey malzemesi olarak AA 7075 alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1: Kaplanacak malzeme karakterizasyonu (%).

Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
87.1-91.4	0.18-0.28	1.2-2	0.5	2.1-2.9	0.3	0.4	0.2	5.5-6.1

AA 7075 alaşımının mekanik özelliklerini ise Tablo 5.2’de görmek mümkündür.

Tablo 5.2: Atışlarda kullanılan alüminyumun mekanik özellikleri.

<b>Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2810
<b>Akma mukavemeti (Mpa)</b>	503
<b>Kopma mukavemeti (Mpa)</b>	572
<b>Kopma uzaması (%)</b>	11
<b>Elastisite Modülü (Gpa)</b>	71.7
<b>Kayma Mukavemeti (Mpa)</b>	331

### 5.3 Alt Yüzey Malzemesinin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması ve Kaplanması

Yüzeyi kaplanacak numuneler 250x250x5 mm boyutlarında demir testeresi ile kesilerek boyutlandırılmışlardır. Kesme işleminden sonra AA 7075 alaşımının kaplanacak yüzeylerine yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem 80 mesh boyutundaki  $Al_2O_3$  tozları ile basınç altında kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.

Yüzeyi pürüzlendirilen numuneler Tablo 5.3’de verilen şartlar altında Atmosferik Plazma (APS) yöntemi kullanılarak krom oksit  $Cr_2O_3$  alüminyum oksit  $Al_2O_3$ , zirkonyum oksit  $ZrO_2$  ve  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  tozları ile kaplanmıştır.

Tablo 5.3: Kaplama parametreleri.

<b>Ark akış oranı</b>	80–100 l/min
<b>Ark basıncı</b>	0.689 Mpa
<b>Yardımcı gaz akış oranı</b>	19 l/min
<b>Yardımcı gaz basıncı</b>	0.345 Mpa
<b>Sprey oranı</b>	2.7–6.8 kg/h
<b>Ark voltajı</b>	61–68 V
<b>Ark akımı</b>	400–650 A
<b>Sprey mesafesi</b>	120 mm

### 5.4 Kaplama Kalınlığı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması

Kaplama işlemi sonrasında numunelerden 15x15x5 mm boyutlarında parça kesilmiştir. Kesilen parçalar kesit yüzeyleri görünecek şekilde soğuk bakalite alınarak 80 mesh’den 1200 mesh’e kadar zımparalanmış, sonrasında 6  $\mu$ m ve 1  $\mu$ m’lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan bu numunelerin kaplama kalınlıkları Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin element dağılımlarını belirlemek için numunelerin kesit yüzeylerinden çizgisel EDS analizleri

alınmıştır.

## 5.5 Sertlik Testleri

Sertlik ölçümleri numunelerin kaplama bölgelerinden 20 g yük altında 15 sn yükleme süresi ile HV cinsinden belirlenmiştir.

Tablo5.4: Sertlik parametreleri

<b>Aluminyum oksit</b>	1600 HV
<b>Krom oksit</b>	1200 HV
<b>Zirkonyum oksit</b>	800HV

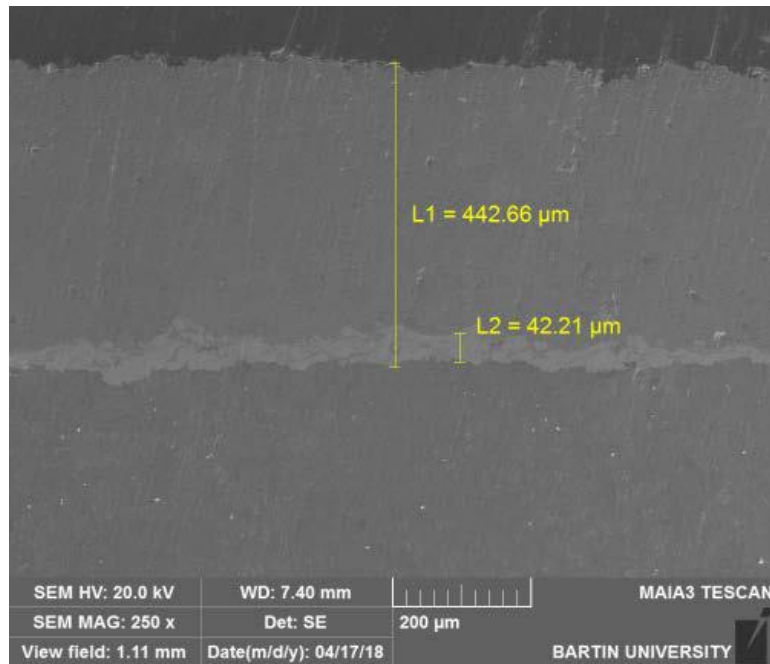
## BÖLÜM 6

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüzeyi APS yöntemi ile kaplanan numunelerin kesit yüzeylerinden alınan ve kaplama kalınlıkları ile kaplama özellikleri hakkında bilgi veren SEM mikroskop görüntüleri Şekil 6.1 ve 6.4’de sırası ile verilmiştir. Kaplama tabakasından alınan HV cinsinden sertlik değerleri sırası ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1600, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1200, ZrO<sub>2</sub> 800 HV olarak belirlenmiştir.

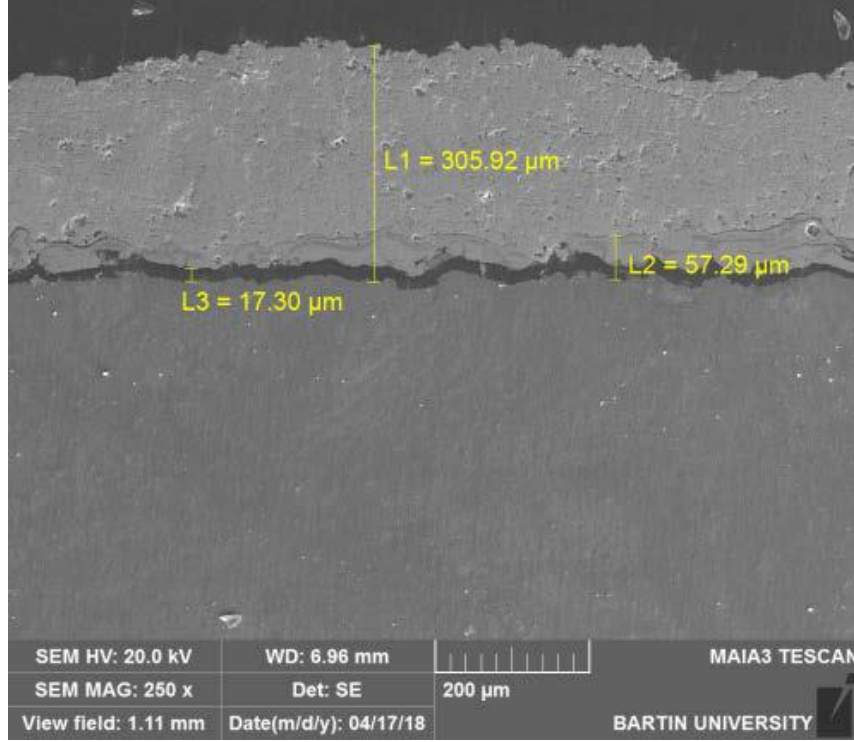
#### 6.1 Yüzeyi APS Yöntemi ile Kaplanan Numunelerin SEM Kesit Görüntüsü

Şekil 6.1’de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları ile yüzeyi kaplanan AA 7075 alaşımının kesit yüzey SEM fotoğrafını görülmektedir. Resmin ortasında görülen ve daha açık renk kontrastı ile fark edilen bölge Ni esaslı bağ tabakasını oluşturmaktadır. Bu Ni esaslı tabaka altlık malzemesi olarak yer almaktadır. Alt tabaka ile kaplama tozlarının daha iyi bir şekilde adhezyonlarını sağlamaktadır. Yine bu bağ tabakasını üzerinde yer alan ve yaklaşık kalınlığı için 440 µm olan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama yüzeyi görülmektedir. Kaplama tabakasında gözenek, pürüz, boşluk gibi üretim hatalarının oluşmadığı görülmektedir.



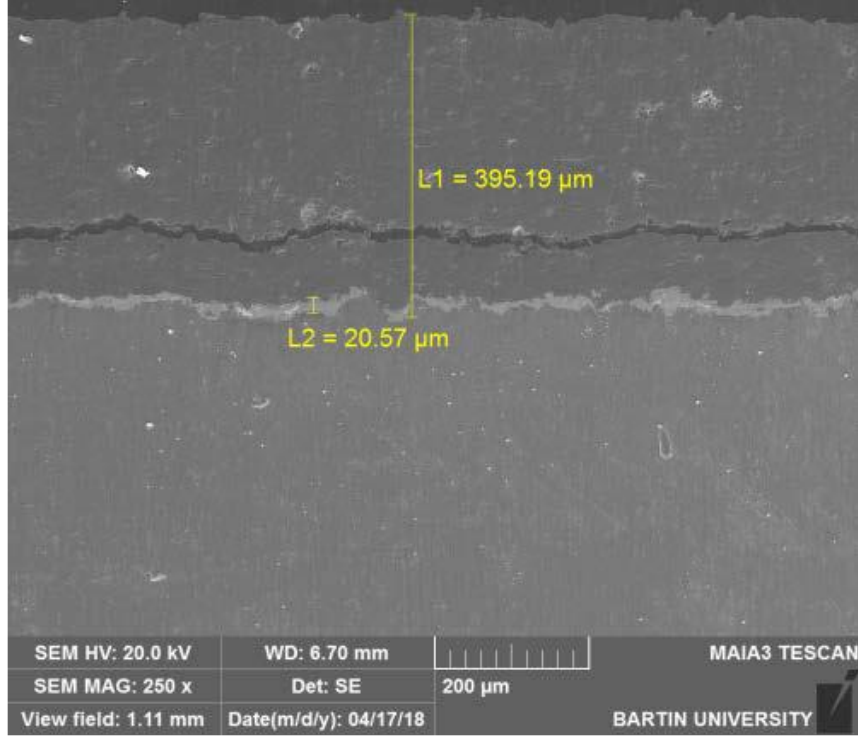
Şekil 6.1: APS yöntemi ile yüzeyi Krom oksit tozları ile kaplanan numuneni SEM yüzey görüntüsü.

Şekil 6.2’de  $ZrO_2$  tozları ile yüzeyi kaplanan AA 7075 alaşımının kesit yüzey SEM fotoğrafını göstermektedir. Resmin ortasında görülen ve daha koyu renk kontrastı ile fark edilen bölge Ni esaslı bağ tabakasını oluşturmaktadır. Alt tabaka ile kaplama tozlarının daha iyi bir şekilde adhezyonlarını sağlamaktadır. Yine bu bağ tabakasını üzerinde yer alan ve yaklaşık kalınlığı için  $300\ \mu m$  olan  $ZrO_2$  kaplama yüzeyi görülmektedir. Kaplama tabakasında gözenek, pürüz, boşluk gibi üretim hatalarının oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 6.2: APS yöntemi ile yüzeyi Zirkonyum oksit tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

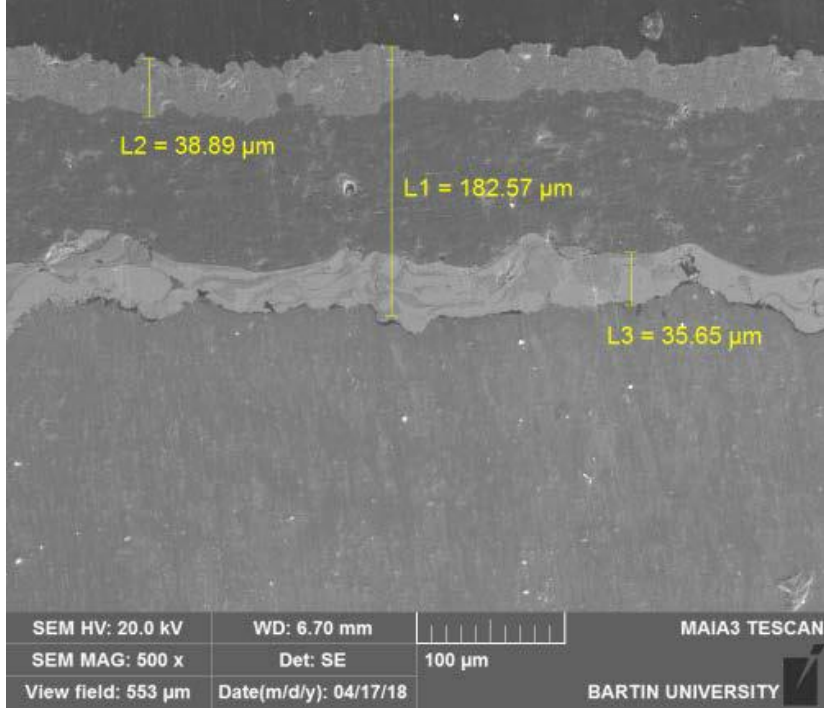
Şekil 6.3’de  $Al_2O_3$  tozları ile yüzeyi kaplanan AA 7075 alaşımının kesit yüzey SEM fotoğrafını göstermektedir. Resmin ortasında görülen ve daha açık renk kontrastı ile fark edilen bölge Ni esaslı bağ tabakasını oluşturmaktadır. Alt tabaka ile kaplama tozlarının daha iyi bir şekilde adhezyonlarını sağlamaktadır. Yine bu bağ tabakasını üzerinde yer alan ve yaklaşık kalınlığı için  $400\ \mu m$  olan  $Al_2O_3$  kaplama yüzeyi görülmektedir. Kaplama tabakasında gözenek, pürüz, boşluk gibi üretim hatalarının oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 6.3: APS yöntemi ile yüzeyi Alüminyum oksit tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

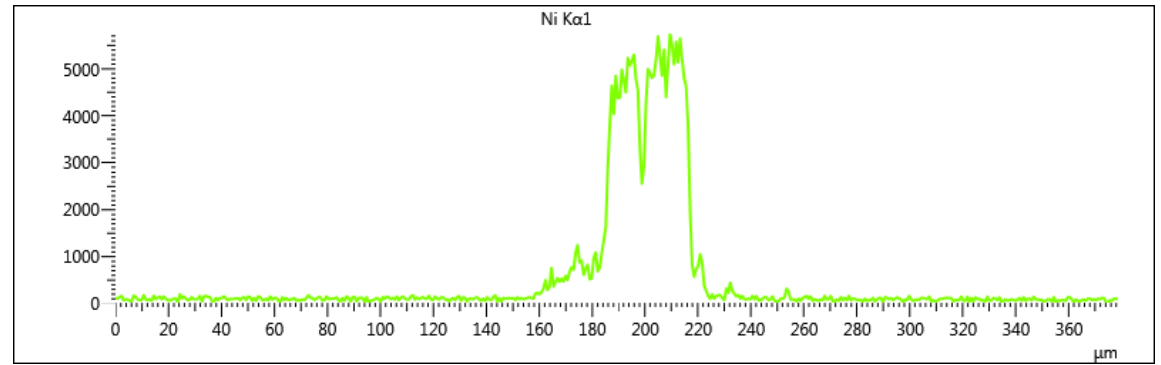
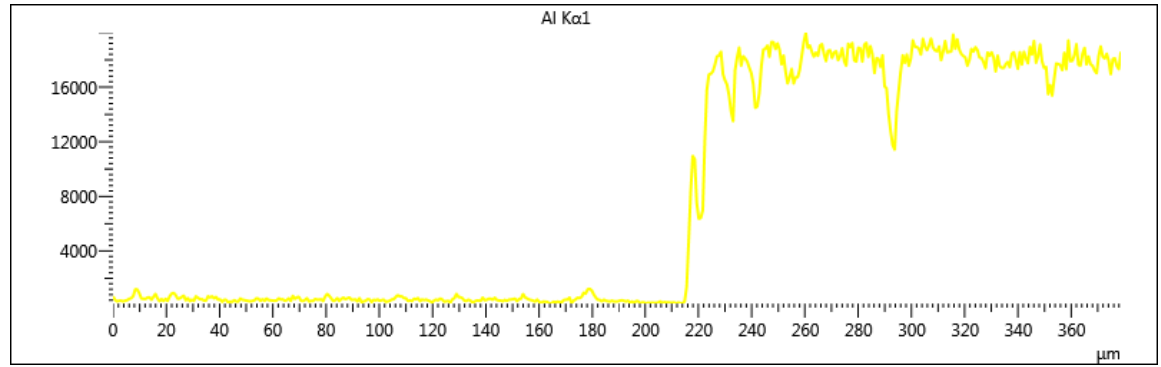
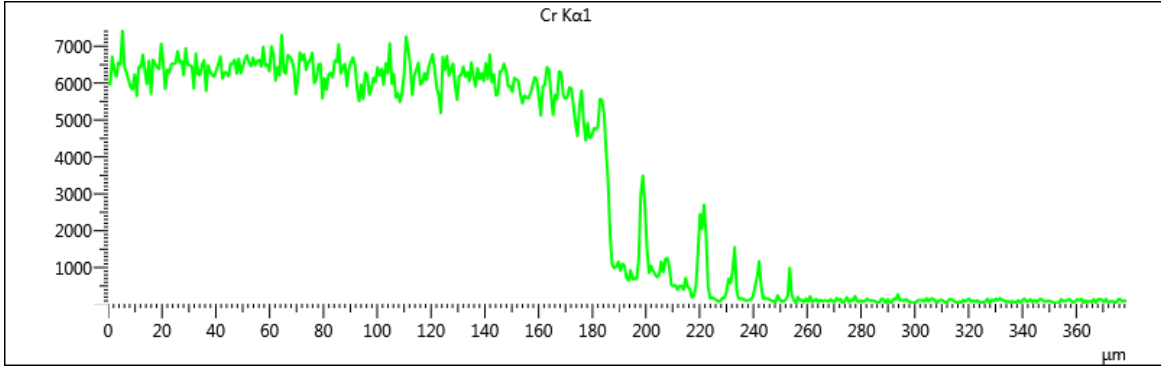
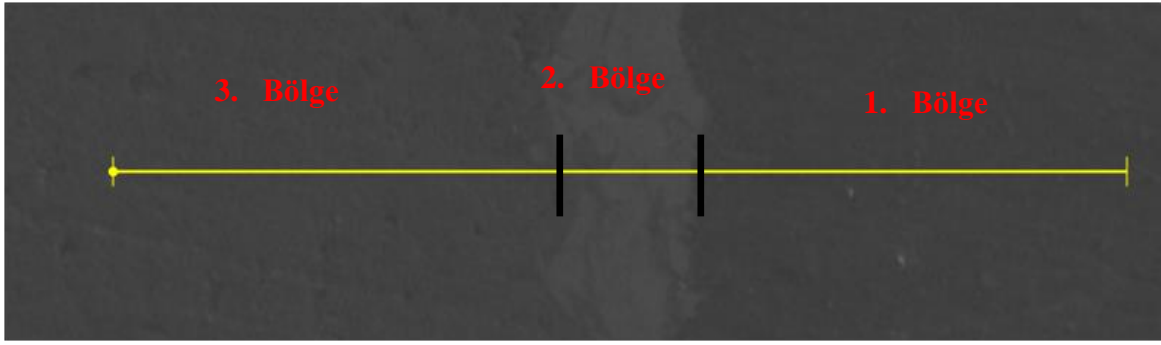
Şekil 6.4'de  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  tozları ile yüzeyi kaplanan AA 7075 alaşımının kesit yüzey SEM fotoğrafını göstermektedir. Resmin ortasında görülen ve daha açık renk kontrastı ile fark edilen bölge Ni esaslı bağ tabakasını oluşturmaktadır. Alt tabaka ile kaplama tozlarının daha iyi bir şekilde adhezyonlarını sağlamaktadır. Yine bu bağ tabakasını üzerinde yer alan ve yaklaşık kalınlığı için 200 µm olan  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  kaplama yüzeyi görülmektedir. Kaplama tabakasında gözenek, pürüz, boşluk gibi üretim hatalarının oluşmadığı görülmektedir. Kaplama işlemi sırası ile ilk olarak altlık malzeme, alüminyum oksit ve krom oksit olarak gerçekleşmiştir.





Şekil 6.4: APS yöntemi ile yüzeyi Alüminyum oksit+Krom oksit tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

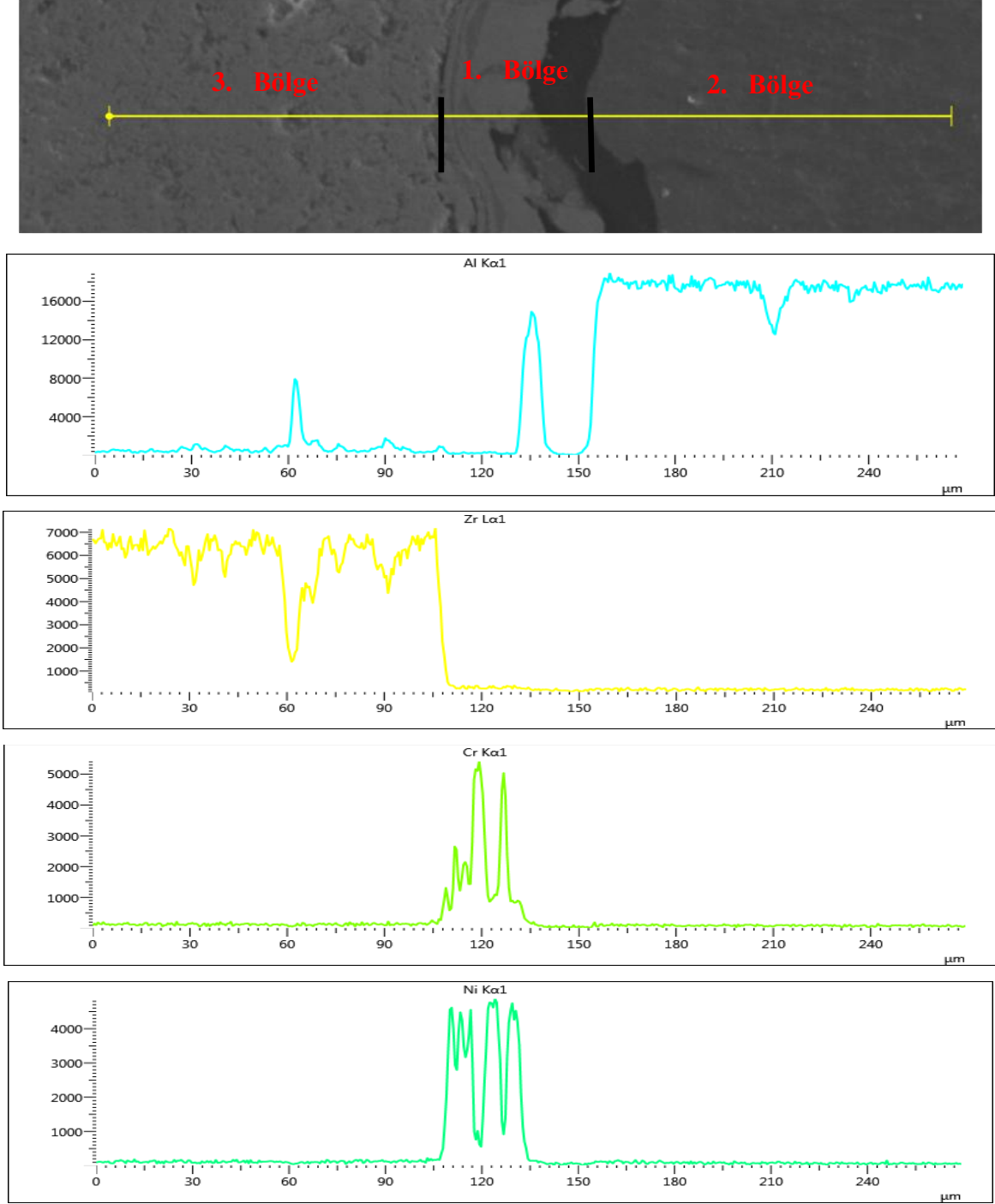
Yine aynı numunelerin üzerinden SEM mikroskobunun EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) modülünü kullanarak alınan elementel analiz raporları sırası ile verilmiştir. Şekil 6.5’de Krom oksit tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi incelendiğinde 1. Bölge kaplama alanında krom elementinin yoğunlaştığı 3. bölgede alt yüzeyde ise alüminyum elementinden oluştuğu görülmektedir. Orta kısımdaki 2. bölgede Nikel elementi bağ tabakası olarak kullanılmasından dolayı yer almaktadır.



Şekil 6.5: APS yöntemi kullanılarak Krom oksit tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisi EDS analizi.

Şekil 6.6'da Zirkonyum oksit tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi incelendiğinde kaplama bölgesinde Zirkonyum elementinin yoğunlaştığı alt yüzeyin ise Alüminyum elementinden oluştuğu görülmektedir. Orta kısımdaki 2. bölgede Nikel ve Krom elementi yer almaktadır sebebi ise bağ tabakası olarak Nikel ve Krom elementinin

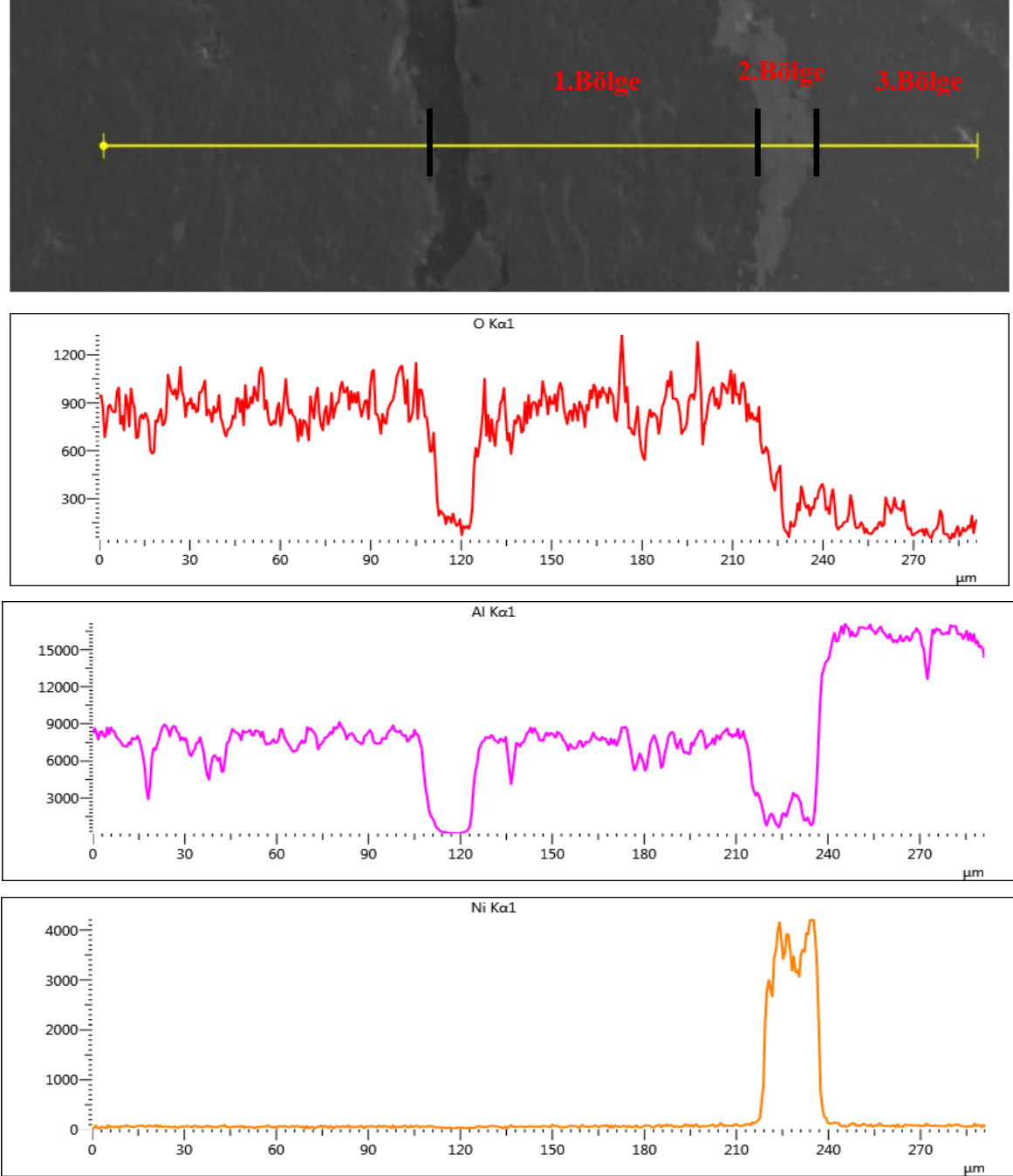
yer almasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.6: APS yöntemi kullanılarak Zirkonyum oksit tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi.

Şekil 6.7’de Aluminyum oksit tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi incelendiğinde 1. bölge kaplama alanında Aluminyum elementinin yoğunlaştığı alt yüzeyin

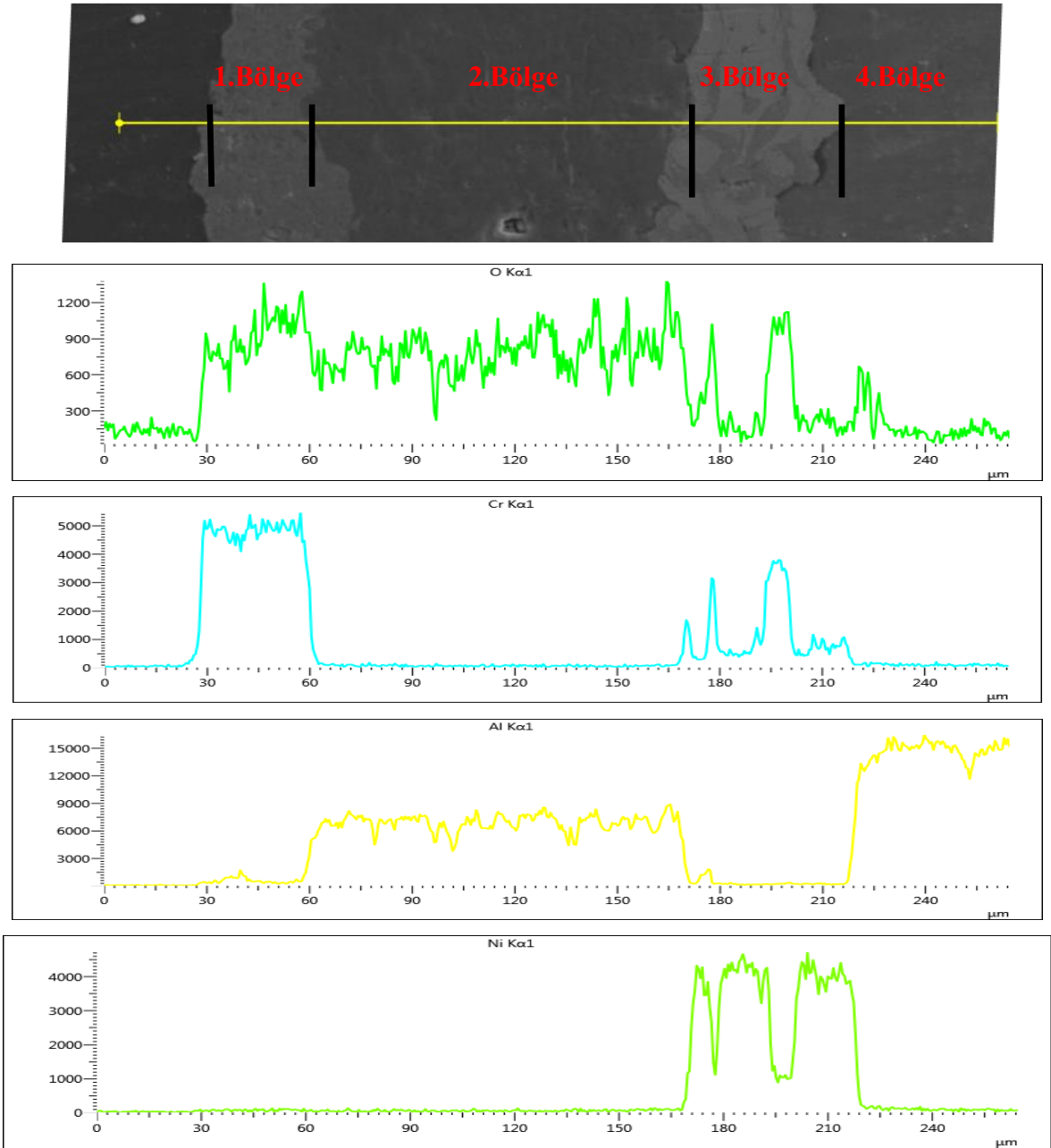
ise Alüminyum elementinin yoğunluğunun devam ettiği görülmektedir. Orta kısımdaki 2. bölgede Nikel elementi yer almaktadır sebebi ise bağ tabakası olarak Nikel elementinin yer almasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.7: APS yöntemi kullanılarak Alüminyum oksit tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi

Şekil 6.8'de Alüminyum oksit ve Krom oksit tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi incelendiğinde kaplama bölgesinde Alüminyum ve Krom elementinin

yoğunlaştığı alt yüzeyin ise Alüminyum elementinin yoğunluğunun devam ettiği görülmektedir. Kaplama işlemi sonrasında yapılan incelemede altlık malzeme yüzeyine ilk olarak alüminyum esaslı sonrasında krom esaslı malzemenin kaplama yapılmadığı görülmektedir. Orta kısımdaki 3. bölgede Nikel elementi yer almaktadır sebebi ise bağ tabakası olarak Nikel elementinin yer almasından kaynaklanmaktadır. Altlık malzemesi olan nikel elementinin diğer kaplamalara oranla malzeme yüzeyine daha çok tutunduğu görülmektedir.



Şekil 6.8: APS yöntemi kullanılarak Alüminyum oksit ve Krom oksit tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi.

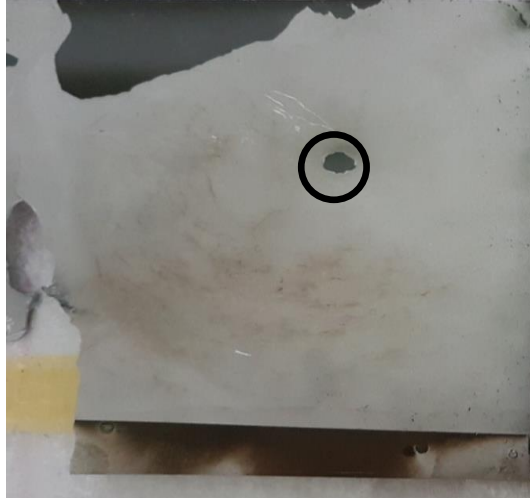
## 6.2 Balistik Deney Sonrasında Malzemelerdeki Şekil Değişikliklerinin Görüntüleri ve Deney Şartları

Şekil 6.9’de kaplanmamış AA 7075 alaşımı üzerine 25 m mesafeden tek kurşunla 300 m/s hızla gerçekleştirilen atış işleminden sonra malzemede meydana gelen deformasyon fotoğrafı verilmiştir. Merminin isabet ettiği sağ alt köşede yaklaşık 5-6 cm genişliğinde bir parçanın koptuğu görülmektedir.



Şekil 6.9: kaplamasız plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.

Şekil 6.10’da  $Cr_2O_3$  kaplanmış AA 7075 alaşımı üzerine yine 25 m mesafeden tek kurşunla 300 m/s hızla gerçekleştirilen atış işleminden sonra malzemede meydana gelen deformasyon fotoğrafı verilmiştir. Merminin isabet ettiği ve fotoğraf üzerinde daire içerisine alınmıştır. Kurşunun meydana getirdiği göçüğün çapı 2 cm derinliği ise 0.7 cm olarak belirlenmiştir. Atış işleminden sonra plaka üzerindeki  $Cr_2O_3$  tabakasının büyük bir kısmının döküldüğü görülmüştür.



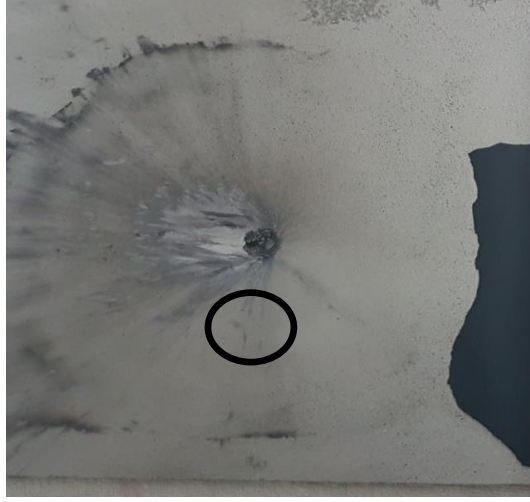
Şekil 6.10: Krom oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.

Şekil 6.11’de  $ZrO_2$  kaplanmış AA 7075 alaşımı üzerine yine 25 m mesafeden tek kurşunla 300 m/s hızla gerçekleştirilen atış işleminden sonra malzemede meydana gelen deformasyon fotoğrafı verilmiştir. Sol alt kısma isabet eden kurşun plaka yüzeyinde 0,6 cm derinliğinde bir krater oluştururken plaka yüzeyinde 1,85 cm çapında bir delik açmıştır. Kaplama malzemesinin plaka yüzeyinden daha az döküldüğü dikkat çekmektedir.



Şekil 6.11: Zirkonyum oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.

Şekil 6.12’de  $Al_2O_3$  kaplı malzemenin yüksek hızda çarpışma sonrasında malzemede meydana gelen şekil değişiklikleri gözlemlenmiştir.  $Al_2O_3$  Kaplamalı malzeme derinlik 0,4 cm boyutunda çap ise 1,7 cm boyutundadır. Yine deney sonucunda kaplama tabakasının tamamen döküldüğünü söylemek ancak kurşunun malzemeyi delemediğini söylemek mümkündür.



Şekil 6.12: Alüminyum oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.

Şekil 6.13’de  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  kaplı malzemenin atış işleminden sonra numunede meydana gelen değişimleri gösteren fotoğrafı verilmiştir. Görüleceği üzere kaplama tabakasının tamamen dökülmediği sadece kurşunun isabet ettiği bölgede çember içerisine alınan ve çapı 5 cm olan bir bölgede dairesel döküntü ve bu noktanın çevresinde meydana gelen çatlaklar bulunmaktadır. Bu bölgede 2,3 cm derinliğinde bir göçük oluşmuştur.



Şekil 6.13: Alüminyum oksit+Krom oksit kaplı plakanın balistik deney sonrasındaki görüntüsü.



## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada AA 7075 alaşımının yüzeyi Atmosferik Plazma yöntemi kullanılarak krom oksit, alüminyum oksit, zirkonyum oksit tozları ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında iki adet numune bir araya getirilerek yüksek hızda malzeme yüzeyine atış yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- a) APS yöntemi kullanılarak AA7075 alaşımının yüzeyi  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  ve  $ZrO_2$  ve  $Al_2O_3+Cr_2O_3$  tozları ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplama kalınlıkları 200  $\mu m$  ile 400  $\mu m$  olarak belirlenmiştir.
- b) Yapılan atışlar sonrasında balistik dayanımı en yüksek olandan en düşük olana doğru sırasıyla  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3+Cr_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  ve kaplamasız plakadır.
- c) Deneyle sonucunda merminin durdurulmasında sertliğin en önemli parametrelerden birisi olduğu anlaşılmıştır.
- d) Sertliği düşük olan kaplamaların ise yüzeyden tamamen dökülmediği gözlemlenmiştir.
- e) Kaplamaların hepsi kaplamasız malzemeye göre daha iyi performans göstermiştir.
- f) Sandviç şeklinde kaplaması gerçekleştirilen numunenin deneye tabi tutulduktan sonra yüzeyindeki kaplama tabakasının daha az hasar gördüğü tespit edilmiştir.

## 7.2 Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen verilere göre gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir;

- a) Mermi çıkış hızları değiştirilerek, mermi çıkış hızının kaplamaya olan etkisi incelenebilir.
- b) Farklı tip kaplama tozları kullanılarak bunların yüksek hızlı çarpışmaya olan etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Andersen, C. ve Dannemann, K. (2001). Deformation and damage of two aluminium alloys from ballistic impact, *Proceedings of the 12th Biennial International Conference of the APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter*, Atlanta, June 24–29.
- Arslan, G., Kara, F., Turan, S., Kalemtaş, A., Tunçer, N. (2006). Bor Karbür- Alüminyum Kompozitlerin Balistik Dayanımı
- Bayrak, G. (2009). Yerli Bazaltlardan Üretilen Cam-Seramik Esaslı Tozların Plazma Sprey Kaplamalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, Sakarya*, 65s.
- Ben-Dor, G., Dubinsky, A. ve Elperin, T. (2005). Optimization of twocomponent composite armor against ballistic impact, *Composite Structures*, 69, 89-94.
- Børvik, T., Clausen, A.H., Eriksson, M., Berstad, T., Hopperstad, O.S. and Langseth, M. (2005). Experimental and numerical study on the perforation of AA6005-T6 panels, *Int. J. Impact Engineering*, 32, 35-64.
- Børvik, T., Clausen, A.H., Hopperstad, O.S. ve Langseth, M. (2004). Perforation of AA5083-H116 aluminium plates with conical-nose steel projectiles-experimental study, *Int. J. Impact Engineering*, 30, 367-384.
- Børvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S. ve Malo, K.A. (2002a). Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with flat, hemispherical and conical noses-part II: Numerical study, *Int. J. Impact Engineering*, 27, 37-64.
- Børvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S. ve Malo, K.A. (2002b). Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with flat, hemispherical and conical noses-part I: Experimental study, *Int. J. Impact Engineering*, 27, 19-35.
- Bozdoğan, F., Üngün, S., Temel., E. ve Süpüren., G. (2015). Balistik Koruma Amaçlı Kullanılan Tekstil Materyalleri, Özellikleri ve Balistik Performans Testleri
- Candan, C., Akdemir, A. ve Şahin, Ö. (2005). Hafif silah tehdidine karşı UHMW-PE ve Seramik zırhların balistik koruma performanslarının incelenmesi, *7. Uluslararası Kırılma Konferansı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli*, 19-21 Ekim, s. 891-900.
- Candan, C. (2011). Hafif Silahlara Karşı Preslenerek ve Preslenmeden Üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen Zırh Plakalarının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi
- Chen, X.W. ve Li., Q.M. (2003). Perforation of a thick plate by rigid projectiles, *Int. J. Impact Engineering*, 28, 743-759.
- Chen, X.W., Li, Q.M. ve Chen, Y.Z. (2003). Perforation of medium thick plate by a sharp projectile, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 49, 147-156.

- Cheng, J., Nemat-Nasser., S. ve Guo., W. (2001). A unified constitutive model for strain-rate and temperature dependent behavior of molybdenum, *Mechanics of Materials*, 33, 603-616.
- Cerit, A.A., Karamış, M.B. ve Nair, F. (2005). Seramik partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin balistik performansının incelenmesi, *Zırh Teknolojileri Semineri*, Ankara, 10-11 Mart, s. 210-221.
- Çay, A., Süpüren, G., Akın, E., Kanat. E., Gülümser. T., Tarakçıoğlu, I. (2016). *Balistik Lifler*
- Davis, J.R. (2004). Introduction to thermal spray processing, chapter 1. *Handbook of thermal spray technology, american technical publishers ltd, United States of America*, pp 3.
- Dey, S., Børvik, T., Hopperstad, O.S., Leinum, J.R. ve Langseth, M. (2004). The effect of target strength on the perforation of steel plates using three different projectile nose shapes, *Int. J. Impact Engineering*, 30, 1005-1038.
- Demircioğlu, K., Ay, İ., Canday, C. (2011). Organik Matrisli Kompozit Malzeme Kullanılarak Oluşturulan Hibrit Zırh Plakasının Terminal Balistik Zırh Özelliklerinin İncelenmesi
- Demirci, M., Vanlı, A.S., Akdoğan., A. (2015). Savunma Sanayide Kullanılan Magnezyum Alaşımları ve Uygulama Alanları
- Dorfman, M.R. (2012). Thermal spray coatings in handbook of environmental degradation of materials, *Elsevier*, Newyork, pp. 298.
- Ersöz, E. (2011). Plazma Püskürtme Yöntemi Kullanılarak Yüzeyi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –TiO<sub>2</sub> Tozlarıyla Kaplanan Düşük Karbonlu Çeliğin Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi*, Elazığ, S18.
- Espinosa, H.D., Dwiwedi, S., Zavattieri, P.D. ve Yuan,G. (1998). A numerical investigation of penetration in multilayered material/structure systems, *Int. J. Solid Structures*, 35, 2975-3001.
- Evcim, M., Yıldırım, R., O. (2008). Alümina Seramik/ Alüminyum AA 2024 T4 Kompozit Zırh Sistemlerinin Balistik Etkilerinin Analizleri.
- Forrestal, M.J. ve Piekutowski, A.J. (2000). Penetration experiments with 6061-T6511 aluminum targets and spherical-nose steel projectiles at striking velocities between 0.5 and 3.0 km/s, *Int. J. Impact Engineering*, 24, 57-67.
- Gama, B.A., Bogetti, T.A., Fink, B.K., Yu, C., Claar, T.D., Eifert, H.H. ve Gillespie, J.W. (2001). Aluminium foam integral armor: a new dimension in armor design, *Composite Structures*, 52, 381-395.
- Gee, D.J. (2003). Plate perforation by eroding rod projectiles, *Int. J. Impact Engineering*,

28, 377-390.

- Gupta, N.K., Iqbal, M.A. ve Sekhon, G.S. (2006). Experimental and numerical studies on the behavior of thin aluminium plates subjected to impact by blunt and hemispherical-nosed projectiles, *Int. J. Impact Engineering*, 32, 1921-1944.
- Gupta, N.K., Iqbal, M.A. ve Sekhon, G.S. (2007). Effect of projectile nose shape, impact velocity and target thickness on deformation behavior of aluminum plates, *Int. J. Solids and Structures*, 44, 3411-3439.
- Gupta, N.K. ve Madhu, V. (1997). An experimental study of normal and oblique impact of hard-core projectile on single and layered plates, *Int. J. Impact Engineering*, 19, 395-414.
- Harvey, D. (1994). The Ultimate Coating- Thermal Spraying At Abington, *TWI Bulletin* 2, March/April 456 (2), 94: 28-30
- Islak, S ve Buytoz, S. (2011). *Microstructure Propwerties Of Zro2/Al2O3-%13 Tio2 Composite Coating Produced With Plasmas Method On AISI 304 Stainless Stell 6 The International Advanced Technologies Symposium (IIATS'11)*, Elazığ, 12s.
- Kapoor, R. ve Nemat-Nasser, S. (1998). Determiration of temperature rise during high strain rate deformation, *Mechanics of Materials*, 27, 1-12.
- Kahraman, N. (2000). Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelere Kaplama Parametlerinin Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Metal Eğitimi*, Ankara, 15-34.
- Kaptan, S. (2012). Plazma Sprey Gazlarının Tungsten Karbür Kaplama Özellikleri Üzerine Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi*, Eskişehir, 32s.
- Kim, M-S., Shin, H-S. ve Lee, H-C. (2003). The effects of back plate materials on perfect cone formation in impact-loaded soda-lime glass, *Int. J. Impact Engineering*, 28, 281-290.
- Kurbanoğlu, C. ve Özkavak Varol, H. (2013). Atmosferik ve Vakum Şartlarında Plazma Kaplama Deney Düzeneginin Tasarlanması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10 (2): 27-36.
- Littlefield, D.L. ve Dawson, A. (2006). The role of impactor shape and obliquity on crater evolution in celestial impacts, *Int. J. Impact Engineering*, 33, 371-379.
- Liu, D. ve Strong, W.J. (2000). Ballistic limit of metal plates struck by blunt deformable missiles: experiments, *Int. J. Solids and Structures*, 37, 1403-1423.
- Li, Q.M., Weng, H.J. ve Chen, X.W. (2004). A modified model for the penetration into moderately thick plates by a rigid, sharp-nosed projectile, *Int. J. Impact Engineering*, 30, 193-204.

- Mahfuz, H., Zhu, Y., Haque, A., Abutalib, A., Vaidya, U., Jealani, S. ve Gama, B. (2000). Investigation of high-velocity impact on integral armor using finite element method, *Int. J. Impact Engineering*, 25, 203-217.
- Nemat-Nasser, S., Isaacs, J.B. ve Liu, M. (1998). Microstructure of highstrain, high-strain rate deformed tantalum, *Acta Materialia*, 46, 1307-1325.
- Nemat-Nasser, S. ve Kapoor. R. (2001). Deformation behavior of tantalum and a tantalum tungsten alloy, *Int. J. Plasticity*, 17, 1351-1366.
- Nesterenko, V.F., Goldsmith, W., Indrakanti, S.S. ve Gu, Y-B. (2003). Response of hot isostatically pressed Ti-6Al-4V targets to normal impact by conical and blunt projectiles, *Int. J. Impact Engineering*, 28, 137-160.
- Odacı, İ.K., Güden, M. Ve Toksoy A.K. (2014). Aramid Kompozit Plaka İle Desteklenmiş Polyester İçine Hapsedilmiş Alumina Seramik Kürelerin 7,62 AP M61 Mermi Karşısındaki Balistik Davranışları
- Onat, A. (2015). Kompozit malzemeler ders notu. *Sakarya Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı*
- Özşahin, E. (2003). Entegre bir zırhın, yüksek hızlı çarpma yükleri altındaki davranışları, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Piekutowski, A.J., Forrestal, M.J., Poormon, K.I. ve Warren, T.L. (1999). Penetration of 6061-T6511 aluminum targets by ogive-nose steel projectiles with striking velocities between 0.5 and 3.0 km/s, *Int. J. Impact Engineering*, 23, 723-734.
- Pereira J.M. ve Lerch, B.A. (2001). Effects of heat treatment on the ballistic impact properties of Inconel 718 for jet engine fan containment alications, NASA/TM—2001-2096
- Roisman, I.V., Yarin, A.L. ve Rubin, M.B. (1997). Oblique penetration of a rigid projectile into an elastic-plastic target, *Int. J. Impact Engineering*, 19, 769-795.
- Roisman, I.V., Yarin, A.L. Rubin, M.B. (2001). Normal penetration of an eroding projectile into an elastic-plastic target, *Int. J. Impact Engineering*, 25, 573-597.
- Rubin, M.B. ve Yarin, A.L. (2002). A generalized formula for penetration depth of a deformable projectile, *Int. J. Impact Engineering*, 27, 387-398.
- Tucker, Jr. R.C. (1994). *ASM handbook volume 5, Surface engineering, Eds.; Cotell, C.M., Sprague, J.A. ve Smidt, F.A.*, Ohio, United States Of America, pp. 497-509.
- Übeyli, M., Yıldırım, R.O. ve Ögel, B. (2005). Alümina/AA2024-T6 katmanlı kompozitin balistik davranışının deneysel ve sayısal incelenmesi, *Zırh Teknolojileri Semineri*, Ankara, 10-11 Mart, s. 58-64.
- Vural, M. (2000). Ballistic performance and impact behavior of alumina armor ceramics,

*Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul.*

- Yadav, S. ve Ravichandran, G. (2003). Penetration resistance of laminated ceramic/polymer structures, *Int. J. Impact Engineering*, 28, 557-574.
- Yeşildal, R. ve Günay Y.Z. (2007). The Coating With Plasma Spray Method And Research Of Spray Characteristics. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 9 (1):59-76.
- Yılmaz, U., Evcı, C. (2017). Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği
- Yossifon, G., Rubin, M.B. ve Yarin, A.L. (2001). Penetration of a rigid projectile into a finite thickness elastic-plastic target – comparison between theory and numerical computations, *Int. J. Impact Engineering*, 25, 265-290.
- Yossifon, G., Yarin, A.L. ve Rubin, M.B. (2002). Penetration of a rigid projectile into a multi-layered target: theory and numerical computations, *Int. J. Engineering Science*, 40, 1381-1401
- Yumuşak, G. (2012). Soğuk Gaz Dinamik Püskürtme Yöntemi İle Cu- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozit Kaplamasının Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, İstanbul*, 6-9s.
- Warren, T.L. ve Poormon, K.I. (2001). Penetration of 6061-T6511 aluminum targets by ogive-nosed VAR 4340 steel projectiles at oblique angles: experiments and simulations, *Int. J. Impact Engineering*, 25, 993-1022.
- Warren, T.L., Hanchak, S.J. ve Poormon, K.I. (2004). Penetration of limestone targets by ogive-nosed VAR 4340 steel projectiles at oblique angles: experiments and simulations, *Int. J. Impact Engineering*, 30, 1307-1331.
- Wijk, G., Hartmann, M. ve Tyrberg, A. (2005). A model for rigid projectile penetration and perforation of hard steel and metallic target, *Swedish Defense Research Agency, FOI-R-1617-SE*.
- Zağlı, M. (2010). Alev Sprey Yöntemiyle Polimer Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya*, 7s.
- Zukas, J.A. ve Scheffler, D.R. (2001). Impact effects in multilayered plates, *Int. J. Solids and Structures*, 38, 3321-3328.
- Zukas, J.A. (1990). High Velocity Impact Dynamics, John Wiley&Sons Inc., Chichester.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ahmet Berkan GÜNAY  
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya 07/02/1992

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Makina Mühendisliği  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce  
Bilimsel Faaliyet / Yayınlar : Günay, A., Aktaş, E., Özcan, M. ve Camcı, H. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 6 Sayı 1 (2018), 29-32. APS Yöntemi İle Yüzeyi Kaplanmış AA 7075 Alaşımının Balistik Dayanımının İncelenmesi

### İş Deneyimi

Stajlar : NG Kütahya Porselen Sanayi A.Ş. (2012)  
Dönmez Debriyaj Sanayi A.Ş. (2013)

Projeler ve Kurs Belgeleri : KOSGEB  
Çalıştığı Kurumlar : Kutlusan Kafes Ekipman A.Ş.

### İletişim

E-Posta Adresi : a.berkangunay@gmail.com

Tarih : 31/10/2018 ( Tez Savunma Tarihi )