

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 025701 (419-428)

AKU J. Sci. Eng. 19 (2019) 025701 (419-428)

DOI: 10.35414/akufemubid.518917

Araştırma Makalesi / Research Article

## ESD Yöntemi ile W, WC ve Alaşımli Çelik Kaplanan AISI 1008 Çelik Plakaların Düşük Hız Balistik Performansları

Adem Coşkun<sup>1</sup>, Şükrü Talaş<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye,<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye,<sup>1</sup> e-posta: ademckn@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5701-2895<sup>2\*</sup> e-posta: stalas@aku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4721-0844

Geliş Tarihi: 28.01.2019; Kabul Tarihi: 11.08.2019

### Öz

#### Anahtar kelimeler

ESD; Balistik Performans; Kaplama; AISI1008 Çelik.

Yüzey aşınma özelliklerini ve korozyon performansını daha fazla arttırmak amacıyla metalik yüzeylere Elektro Kıvılcım Biriktirme (ESD) veya Düşük Enerji Kaynaklı (LEW) kaplama uygulanır. Bu amaçla, kaplama tabakasının oluşumunu kolaylaştırmak için işlemin bu süreci için bir aktüatör kullanılır. Bu çalışmada, ESD kaplamalar çeşitli çelik plakalar üzerine uygulanmış ve çelik plakalara yapılan kaplamaların metalurjik ve fiziksel özellikleri karakterize edilmiştir. ESD kaplı çelik plakalar üzerinde düşük hızlı / darbe enerjili balistik testler yapılmış ve kaplamanın sertliği arttıkça kaplamanın düşük darbe enerjili balistik performansının düşük hızdaki parçacık etkisinden veya araçlar ve diğer nesnelere korunma açısından umut verici olduğu ortaya çıkmıştır.

## Low Speed Ballistics Performance of AISI 1008 Steel Coated with W, WC and Alloyed Steel by ESD Method

### Abstract

**Keywords**  
ESD; Ballistic Performance; Coating; AISI1008 Steel

Electro Spark Deposition (ESD) or Low Energy Welding (LEW) coating is applied on metallic surfaces for the purpose of increasing surface wear properties and better corrosion performance. For this purpose, an actuator is employed for this course of the process in order to ease the formation of the coating layer. In this study, ESD coatings have been applied onto steel plates and metallurgical and physical properties of the coatings have been characterized. Low-Speed/impact energy ballistic tests have been carried out on ESD coated steel plates and it is revealed that as the hardness of the coating is increased the low impact energy ballistics performance of the coating becomes promising for the protection from low speed particle impact of vehicles and other objects.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Günümüz endüstrisinde kullanılan makine, cihaz ve ekipmanlarına ait parçaların çalışma prensipleri incelendiğinde, büyük çoğunluğunda makinelerin genelde yüzeylerinin çalıştığını, bu sebeple en çok çalışan yüzeylerin yorulduğunu görmekteyiz. Yıpranan bu yüzeylerin, makinenin diğer ekipmanların bütününe göre düşük veya yüksek sürtünme katsayısına sahip, çalışma alanına göre ısıya, aşınmaya ve korozyona daha mukavemetli,

daha sert v.s olması gerekmektedir. Bir kaplama prosesi ile yüzey özellikleri artırılmış olan metalik alaşımlar veya metal matrisli kompozitler geliştirilen yüzey işlemleri sayesinde birçok alanda yaygın olarak kullanılabilirler (Gil *et al.* 2006, Wei *et al.* 2016). Bir çok kaplama yönteminde, ana malzemenin yüzeyi değişik özelliklere sahip malzemelerle kaplanır, bu şekilde yeni geliştirilen yüzey verimli bir şekilde çalışırken, asıl ana malzemenin yapısının fiziksel ve kimyasal özellikleri

büyük ölçüde veya hiçbir değişikliğe uğramamaktadır (Chenglong *et al.* 2005).

ESD kaplama yönteminde, ergime mikro hacimde gerçekleşmekte ve kaplama esnasında meydana gelen her bir kıvılcım çok kısa süre içerisinde oluştuğu için altlık ısıdan etkilenmeyecektir. Bu nedenle, ısı altında özellikleri değişebilen malzemelerin elektro kıvılcım yöntemi ile kaplanması daha elverişlidir (Gould 2011, Johnson and Sheldon 1986). ESD kaplama yöntemi ile elde edilen sert yüzey kaplamalar, aşınmaya tabi yüzeylerde, yüksek sıcaklıklarda, oksitlenmeye ve korozyona tabi tutulan şartlar altında çalışan büyük parçalara uygulandığı gibi küçük parçalarda da aşınma dirençlerini arttırmak ve malzeme yüzeylerini korumak ve malzemenin kullanım ömrünü arttırmak amacıyla da yapılmaktadır. ESD kaplama yönteminin aşınmaya maruz kalan makine elamanlarında (türbin bıçakları, torna takımları, miller, kalıplar, matkap uçları gibi) aşınmış olan bahse konu parçaların tamir ve kullanım ömürlerinin artırılması konusunda yaygın bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Gould 2011, Brown *et al.* 1990, Uysal 2006).

Kaplama esnasında darbeler şeklinde uygulanan yüksek elektrik akımı ana malzeme ve elektrot malzemesi arasındaki küçük boşluktan geçerken temas alanında ergime meydana getirecek kadar ısı oluşmasına neden olur. Fakat gerçekleşen akımın çok kısa sürede oluşması nedeniyle ergime işlemi tamamlanır ve damlanın veya kıvılcımın yüzeye transferinden sonra ani soğuma meydana gelir. Altlık malzemesinin ısısında önemli bir oranda değişimin olmaması, ısıdan etkilenen bölgenin minimize olmasını sağlayarak, kaplama tabakası dışındaki mikro yapıda bir değişikliğin olmasını engeller veya etki oldukça sınırlıdır. Oluşan ergime hacmi oldukça küçüktür ve yaklaşık 109°C/s mertebesinde hızlı bir soğuma elde edilir (Hong *et al.* 2015). Bu kadar yüksek soğuma hızları, nanokristalin ve amorf yapıların oluşması için yeterli olabilmektedir. Dizayn ve ekipmandaki basitlik ve ucuz olması, ve ayrıca, normal ark kaynak yöntemine göre daha az zararlı gaz üretmeside bir avantajdır. (Levashos *et al.* 2007, Milligan *et al.* 2010) ESD ile kaplama yönteminde, iki tabaka arasında belirli bir

fiziki sınır oluşmaz ve anot malzemesinin katot malzemesine karışımı alaşımlandırma kuralları çerçevesinde gerçekleşir (Bozkurt 2018). ESD kaplama yönetimi ile alaşımsız karbonlu çelik numuneler üzerinde TiB<sub>2</sub> veya alaşımsız az karbonlu çeliklerin yüzeyine TiC kaplaması yapılarak ultra sert yüzeyler elde edilmiştir (Agarwal and Dahotre 1998, Talaş vd. 2016). Yüksek hız takım çelikleri (HHS) üzerine yapılan ESD kaplamalarında da takım çeliklerin çalışma süresi % 2000 arttırılmıştır ve benzer çalışma bakır keplere uygulanmıştır (Talaş ve Gökçe 2017, Topaç 2014, Halliday *et al.* 1995). AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyine kaplanmak üzere WC, CrC gibi çok sert, Co içeren orta sertlikteki alaşımlar ve Ag gibi daha yumuşak metaller içeren değişik elektrot malzemeler kullanılmıştır. Bu elektrotlar ile paslanmaz çelik yüzeylerine gerçekleştirilen kaplamalar yüksek darbeli aşınma ve burulma testlerine tabi tutulmuş, paslanmaz çelik numunelerin aşınma ve burulmaya karşı yüksek direnç gösterdikleri tespit edilmiştir (Korkmaz 2008).

Balistik, yüksek hıza sahip bir cismin çarptıktan sonra hedefte meydana getirdiği penetrasyon miktarı/derinliği, mevcut enerjisini çarptığı cisme ne oranda ilettiği ve meydana getirdiği etki alanı ile ilgilenir. Yapılan incelemelerde ölçümler şu parametreleri inceler; mermi çekirdeğinin meydana getirdiği ilk derinlik, derinlik boyutu ve hacimsel genişlik. Orta kalınlıktaki zırh çalışmalarında, mermi çekirdeği zırh malzemesini tamamen delerek geçemez fakat zırh tabakanın arka kısmı çekirdek hareketinden etkilenir. Kalın zırhlarda ise mermi zırhı delemmez. İnce kalınlıktaki zırh malzemelerinde, mermi çekirdeği zırhı delerek geçer ve zırh malzemesinin çekirdek üzerindeki etkileri araştırılır (Srivathsa and Ramakrishnan 1997, Binay 2016). Serbest düşen ağırlık testi, yumuşak malzemelerin delinme performanslarının test edilmesinde rahatlıkla kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, ağırlığı bilinen uç kısmı değişik profilde şekillendirilmiş cisim düşürülerek delinme profilleri ve kapasitesi test edilir (Warnet and Reed 1999)

Bu çalışmada, düşük karbonlu AISI 1008 çeliği üzerine ESD biriktirme yöntemi ile farklı frekans ve

voltajlarda Tungsten (W), Tungsten Karbür (WC) ve Alaşımli Elektrot ile kaplama yapılarak bu kaplamaların malzeme yüzeyinde meydana getirdiği sertlik değerlerinin darbe direnci karşısında balistik özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine yapılan çalışma sunulmuştur.

## 2. Metaryal ve Metot

Elektro-kıvılcım biriktirme ile 3.5 x 3.5 x 0.1 cm boyutlarındaki AISI 1008 (ağ. % 0.82 Mn, ağ. % 0.31 Si ve ağ. % 0.072 C alaşım elementi içernektedir) çeliği altlık malzemesine Tungsten Karbür(WC), Tungsten (W) ve Alaşımli Çelik elektrod ile yapılan kaplamalar sırasında kullanılan voltaj ve frekansları ve kullanılan numune sayıları Çizelge 1 ve Çizelge 2 de belirtilmiştir. Altlık malzeme üzerine kaplanan çeliğin kimyasal kompozisyonu ağ. %0.22C, %0.3Si, 0.9%Mn, %1Cr ve ağ. % 0.85Ni olup, saf W ve WC- ağ. %10 Co oranında WC bileşiminde kaplama elektrodları da kullanılmıştır. Toplam numune sayısı 27 adet tir.

**Çizelge 1.** AISI 1008 Çeliginin W, WC ve Alaşımli Çelik ile ESD kaplama sırasında kullanılan voltaj ve frekanslar

NUMUNE NUMARALARI	VOLTAJ (V)	FREKANS (Hz)
1	48	210
2	104	210
3	160	210
4	48	890
5	104	890
6	160	890
7	48	1570
8	104	1570
9	160	1570

Kaplama makinası olarak da 3000 W gücünde, 20-160 aralığında voltaj ve 40-2100 Hz aralığında da frekans çıkışı verebilen SZ-3000 marka ESD kaplama makinası kullanılmıştır. Ayrıca koruyucu atmosfer olarak kaplama bölgesine Ar gazı uygulanmış ve yaklaşık 90s'de kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik deneyi 15 saniye boyunca 4.903 N yük ve mikro Vickers uç

kullanılarak yapılmıştır. Shimadzu HMV 20 marka ve model cihaz bu amaçla kullanılmıştır. Ölçüm değerleri, numunenin değişik yerlerinden alınan en az on adet ölçümün ortalama değeri alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, 2 metre yükseklikten serbest düşme yapan yaklaşık olarak 800 gr ağırlığındaki çelik ağırlık darbe etkisi yaratmak için kullanılmıştır. Darbe deneyinden sonra, iz derinliği, iz çapı ve toplam yükseklik ölçülmüştür. Test edilen numunelerin iç yapı, yapısal ve kimyasal analizleri için değişik analiz cihazları kullanılmıştır. Metalografik incelemeler için hazırlanan parçalar kesildikten sonra, sırasıyla 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalardan geçirilmiştir ve 3 µm'lik elmas pasta ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Mikroyapılar, Olympus BX-60 marka optik mikroskop ve LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Tabaka kalınlıkları ise yine aynı optik mikroskoba takılı optik mikrometre yardımıyla ölçülmüştür. Tabaka kalınlığı, numune kesitinden yapılan 6 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

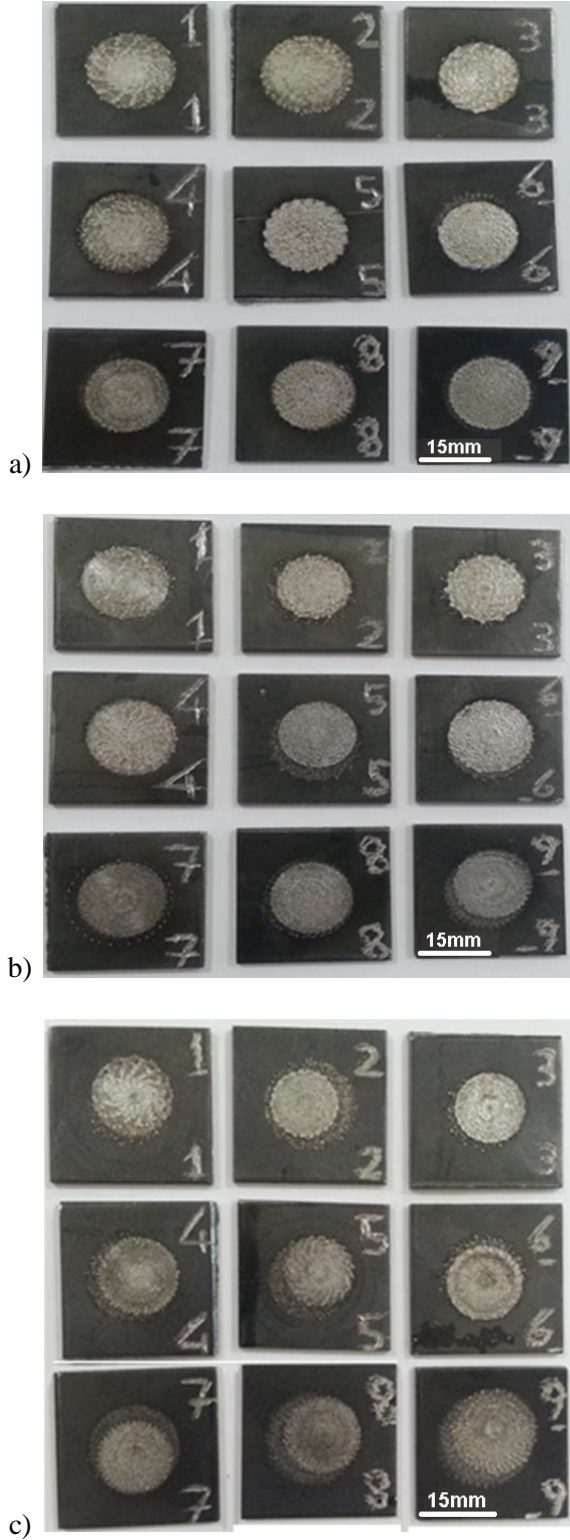
X-ışını difraksiyon analizi, ESD kaplama yöntemiyle yüzeyde oluşan kaplama tabakasının karakterizasyonu için yapılmıştır. Numunelerin X-ışınları difraksiyon analizleri 10-100 derece arasında, CuKα ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) radyasyonu kullanılan Shimadzu XRD-6000 marka X-ışınları Difraktometresi ile gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular

### 3.1. Kaplamaların makro yapısal karakterizasyonu

WC, W ve Çelik kaplanmış numunelerin yüzeyleri Şekil 1'de verildiği şekilde kaplanmışır. Kaplama alanının çapı yaklaşık 1.5 cm olarak ölçülmüştür. Bütün numuneler için bu alan sabit tutulmuştur. 1'den 9'a kadar olan sıralamada 1 ile ifade edilen ve en düşük frekans ve en düşük voltajın etkisi, kaplama alanının tam olarak kaplama malzemesi ile doldurulamamasıdır. Bu etki artan frekansın etkisi ile ortadan kalkmaktadır. Artan frekansla beraber, doldurma kapasitesi ve homojenlik az miktarda artarken, artan frekansın ve yüksek voltajla beraber, kaplama tabakasının daha homojen yayılması ve

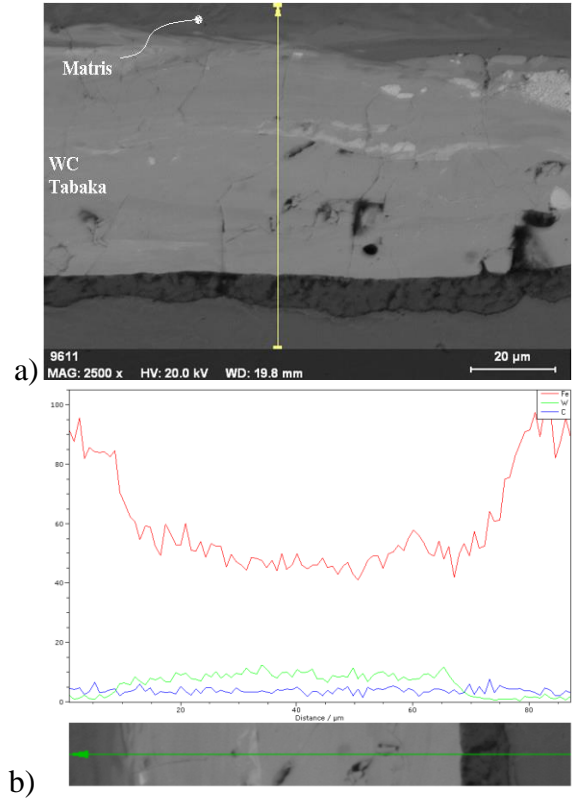
diğerlerine göre daha boşluksuz bir kaplamanın ortaya çıkmasıdır.

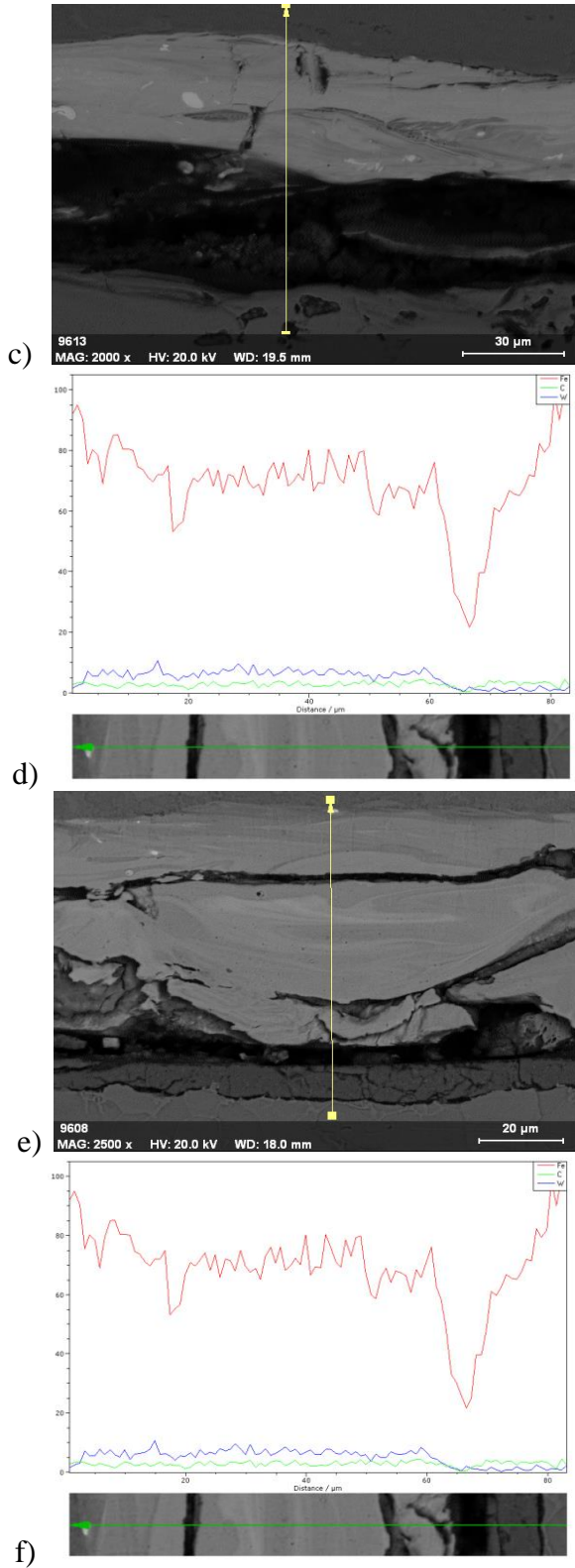


Şekil 1. Yüzeyi a) WC b) Çelik ve c) W ile Kaplanan Numuneler

SEM ile kesitten alınan mikroyapıların analizinde, çizgisel analizlerin elementel değişimin meydana geldiğini ve alaşımlandırmanın etkisinin tabakalarda ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 2). WC

kaplamalarda, Fe miktarının artan mesafeye bağlı olarak azaldığı ve W miktarının arttığını görmekteyiz. SEM resminin BSE dedektörü ile çekilmesinden dolayı kaplama tabakasının renk bütünlüğüne bakıldığında, tabaka içerisinde bazı bölgelerin daha açık renkte olduğu ve W'ce zengin olduğu, genel olarak kaplamanın matrise göre daha açık renkte olduğu ve Fe, W ve C alaşımlandırmanın meydana geldiği görülmektedir. Artan atom numarasının etkisiyle, matrise daha açık renkte olmaktadır. Alaşımli çelik kaplamada da WC kaplamaya benzer şekilde homojen bir alaşımlandırma ve tabaka kalınlığı görülmektedir. WC - AISI 1008 kaplama tabakasında, alt katmanın önce atılması ve üst tabakaların kaplama sırasında muhtemelen tekrarlı alaşımlandırmaya maruz kalması nedeniyle çatlak oluşumuna yol açmadığı görülmektedir. W kaplamaların tabaka kalınlıkları farklılık göstermekte, daha çok porozite ve çatlak oluşumuna yol açtığı görülmektedir.



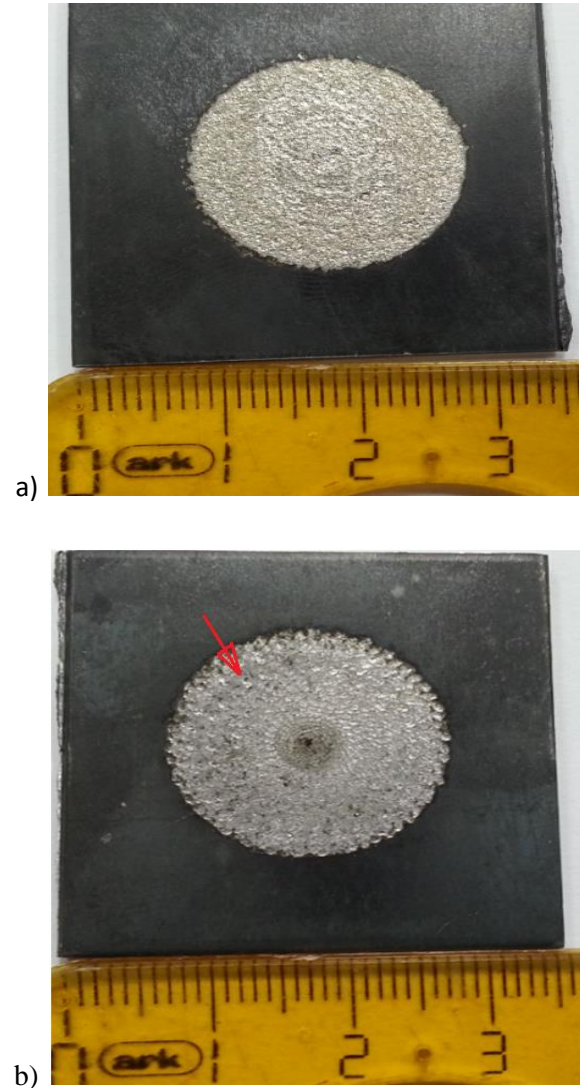


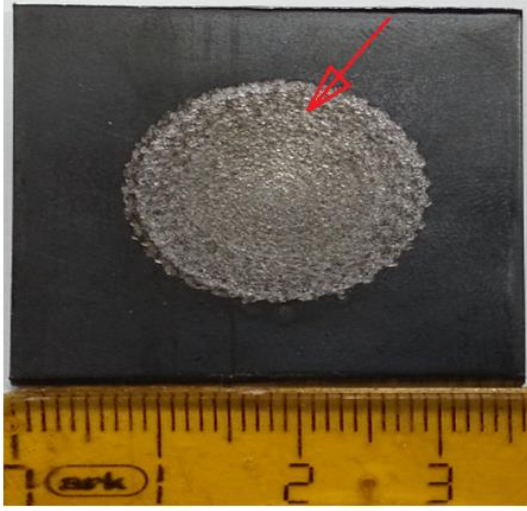
Şekil 2. Yüzeği 160V ve 890 Hz ile a-b) WC c-d) W ve e-f) Alaşımli Çelik kaplanan numunenin kesitten SEM görüntüsü ve çizgi analizleri

### 3.2 Kaplama kalınlıklarının analizi

Kaplama işlemi 160V ark geriliminde ve 1570 Hz frekansta gerçekleştirilen numunelerin genel

görünüşleri Şekil 3'te verilmiştir. Numunelerin yüzeyleri kaplama zorluğuna göre boşluklar (Şekil 3 b'de kırmızı okla gösterilmiştir) veya fazla tabakalaşma hatlarını (Şekil 3'de kırmızı ok ile gösterilmiştir) içermektedir. Özellikle W elektrot ile yapılan kaynaklarda boşlukların oluştuğu ve daha da önemlisi kaplama alanındaki seyrekleşme oluşumu nedeniyle kaplama kalitesinin düşük olduğu görülmektedir. Bütün kaplamaların kaplama süresi aynı tutulmasına ve kaplama sırasında elektrotların bir turunun süresinin sabit tutulmasına rağmen boşluk oluşması veya katlama veya aşırı tabaka oluşumu çelik elektrotta görülmüştür.





c)

**Şekil 3.** Yüzeyleri 160 V ve 1570Hz frekansta a) WC, b) W ve c) Çelik kaplanan numuneler.

Kaplama sonrasında ölçülen kaplama kalınlıklarının kaplama türüne göre karşılıkları Çizelge 2’de verilmiştir. W, WC ve Çelik kaplamaların kalınlıkları farklılıklar göstermektedir. En düşük kalınlık değeri W kaplamada görülürken, WC kaplama kalınlığı diğerlerine göre daha fazla olmaktadır.

**Çizelge 2.** Frekansları ve voltajları farklı olan W, WC ve Çelik elektrotla kaplanan numunelerin 500x büyütmede optik mikroskopta kaplama kalınlıkları ( $\mu\text{m}$ )

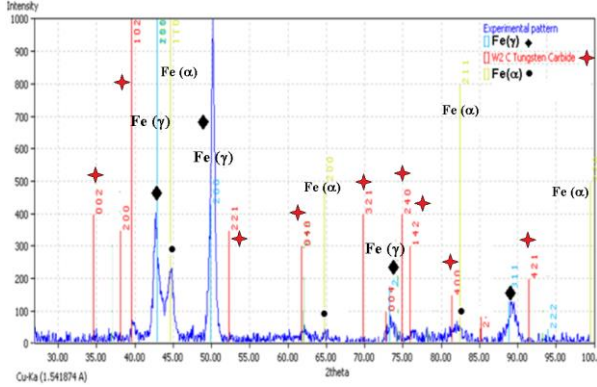
Malzeme türü	Standard Sapma	Ortalama ( $\mu\text{m}$ )
<b>W Kaplama</b>		
Ort.		<b>19.93</b>
1		17.76
2		17.03
3		17.16
4	4.8	14.85
5		12.98
6		25.64
7		22.15
8		26.23
9		25.63
<b>WC Kaplama</b>		
Ort.		<b>27.60</b>
1		11.75
2		16.46
3		23.6
4	11.12	36.54
5		31
6		44.27
7		13.91
8		40.1
9		30.8
<b>Çelik Kaplama</b>		
Ort.		<b>23.62</b>
1	7.72	10.72

2	13.8
3	22.01
4	17.47
5	32.21
6	31.77
7	32.64
8	26.45
9	25.59

### 3.3 Kaplama sertliklerinin analizi

W, WC ve Çelik elektrotlarla yapılan kaplamalara ait sertliklerin ortalama değerleri ve standard sapma değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Çelik kaplamanın ortalama sertlik değeri altlık malzeme değerinden yüksek olmasına rağmen, W ve WC kaplamalara göre daha düşüktür. En iyi değeri WC kaplamanın vermesi diğer kaplama malzemelerinden farklı olması ile açıklanabilir. W ve çelik kaplama elektrotları, daha önce yapılan çalışmalarda verildiği gibi, sadece W ve Fe ( $\alpha$ ) ile sonuçlanan XRD sonuçları verirken, WC ile yapılan kaplamalarda ise, WC fazı nadiren çıkmakta veya çıkmamaktadır. Şekil 4’te, bu çalışmada yapılan WC kaplamanın XRD sonucu verilmiştir. Bu aşamada, iki seçenek ortaya çıkmaktadır. Birincisi, altlık malzemenin düşük C içeriğinin, kaplama sırasında WC damla oluşumunun ardından hızla çarptığı ve ergimesine sebep olduğu matris AISI 1008 ile alaşımlandırma sırasında C’un WC’den ayrılmasına ve ardından matris fazın C’ca zenginleştirilmesine sebep olması muhtemeldir. Buna karşın, damla oluşumu sırasında, Ar koruyucu gaz kullanılsada, C’un bir kısmının oksidasyonla ortamdan azalması ve neticesinde,  $W_2C$  fazının oluşumuna sebep olduğu düşünülebilir. Şekil 4’te, kaplamada ortaya çıkan fazların, Fe, WC ve  $W_2C$  olduğu görülmektedir. XRD sonucundaki Fe (alfa ferrit) pikleri, altlık AISI 1008’in hmk ferrit yapısından gelmektedir. Diğer Fe( $\alpha$ ) piklerinin ise, elektrod malzemesi olan WC’nin yerine,  $W_2C$  yapısında ortaya çıkmıştır.  $W_2C$  kristal yapısı, WC nin aksine, çok dar bir aralıkta elde edilir ve stoykiyometrik koşullarda WC (alfa) hmk yapıya sahipken, 2460 °C de  $W_2C$  fazına ayrışması sözkonusudur (Sara, 1965). Ancak, WC (alfa) 2460 C civarında ortaya çıkan bu yapı oda sıcaklığına indikce  $W_2C/W_2C+W$  yapısına ayrışmaktadır. Bu aşamada,  $W_2C$ ’ün kaplama içerisinde olması, kaplama sırasında ark sıcaklığının oldukça yüksek olduğu ve yüksek soğuma hızıda düşünüldüğünde, W’in piklerinin olmaması,  $W_2C$  nin karbon kaybıyla

beraber, ortaya çıkması muhtemel olduğunu göstermektedir. Ayrıca, W<sub>2</sub>C'ün sertliği, WC'ün sertliğine göre, %20 daha fazladır (Theisen, 1998)



**Şekil 4.** Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür Kaplanan Yüzeyden Alınan XRD Sonucu(Fe(α), Fe(γ) veW<sub>2</sub>C).

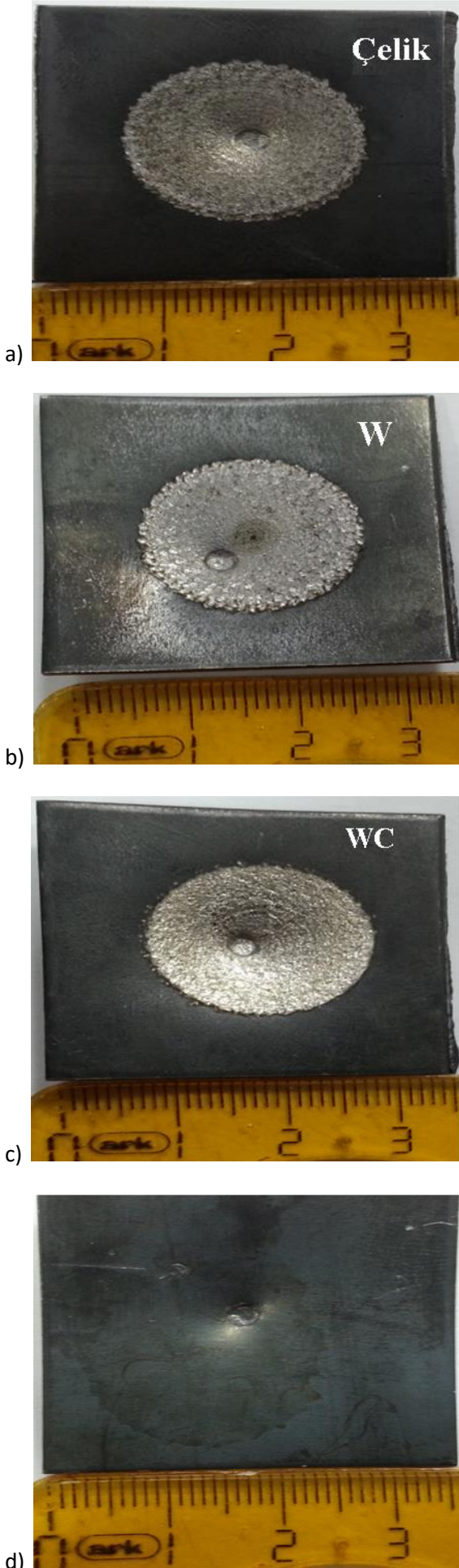
AISI 1008 malzemenin ortalama sertliği 145-150 HV arasında iken, Çelik Elektrotla kaplama sonrası kaplamanın yüzey sertliği yaklaşık olarak ana malzemenin iki katı olan 283,9 HV'e, W Elektrotla kaplama sonrası kaplama sertliği ana malzemenin sertliğinin yaklaşık üç katına denk gelen 413,7 HV'e ve WC Elektrotla kaplama sonrası yüzey sertliği, yaklaşık olarak ana malzemenin beş katına denk gelen 755,6 HV olarak ölçülmüştür. Benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da elde edilmiştir Kayalı ve Talaş, 2018). Bu çalışmada elde edilen sertlik değerlerindeki farklılıklar, kaplamanın homojen bir yapıda olmadığını veya yüzeydeki kaplama topografisinin önemli olduğuna işaret etmektedir. Değişen yüzey topografisi hem kaplama kalınlığının homojenliğini ve aynı zamanda sertliğini de etkilemektedir.

**Çizelge 3.** Kaplama sonrası ölçülen ortalama sertlik değerleri.

Malzeme türü	Standard Sapma	Ortalama Sertlik Değeri (HV0.5)
<b>W Kaplama</b>		
Ort.		413.7
1		421.4
2		465.3
3		386.3
4	63.60	457.5
5		317.2
6		500.2
7		316.2
8		449.2
9		410
<b>WC Kaplama</b>		
Ort.		<b>755.67</b>
1		695.8
2		529.6
3		606.7
4	156.31	701.6
5		641.2
6		835.2
7		869.2
8		849.3
9		1072.5
<b>Çelik Kaplama</b>		
Ort.		283.93
1		373.6
2		231.2
3		369.8
4	52.87	235
5		270
6		304.6
7		225.4
8		270.6
9		275.2
<b>AISI 1008 Altlık</b>	16.37	148.03

### 3.4 Kaplanan numunelerin düşük enerjili darbe test analizi

ESD yöntemi ile 3.5x3.5x0.1 cm ebatlarında kesilmiş olan AISI 1008 çeliği üzerine yaklaşık 1.5 cm çapında W, WC ve Çelik elektrotlarla 160 V ve 1570 Hz'de yaklaşık 90 saniye süreyle yapılan ve diğer kaplamalara göre 3 ayrı optimum kaplama kalınlığı veren kaplama numunelerinin düşük hızlı balistik darbe deney cihazında 800gr yük altında yaklaşık olarak 64 km/h hızında serbest deformasyon altında oluşan izleri Şekil 4'de verilmiştir.



**Şekil 4.** AISI 1008 Çeliği Üzerine Yüzeyleri 160 V 1570Hz frekansta kaplanan numunelerdeki serbest düşme deformasyon izi, (a) Alaşımli Çelik (b)W (c) WC

**Çizelge 4.** AISI 1008 Çelik Plaka Üzerine 160 volt ve 1570Hz'de Çelik, W ve WC Numunlerinin 800gr Yük Altında 64km/h hızında oluşan ortalama İz Genişliği ve İz Derinlikleri (mm).

Malzeme türü	İz Genişliği (mm)	İz Derinliği (mm)
AISI 1008	3,84	2,1
Çelik	3,14	1,78
W	3,3	2,03
WC	3,04	1,4

İz derinlikleri ve iz genişliği ölçümleri Çizelge 4'de verilmiştir. Balistik darbe izlerin mümkün olduğu kadarıyla izin ortasına gelmesi sağlanmış ve serbest düşme sonucunda oluşan izin derinliği incelendiğinde, AISI 1008 çeliğinin kaplamasız halde daha fazla deformasyona maruz kaldığı görülmüştür. İzlerin genişliği ölçümleri de benzer bir davranış sergilemektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, ESD kaplama yöntemi kullanılarak AISI 1008 çeliğinden elde edilen numunelerin yüzeyleri W, WC ve çelik elektrotlarla kaplamaları gerçekleştirilerek, kaplanan numunelerin deformasyon karakteristikleri incelenmiştir. Kaplama işlemleri her bir numune için farklı voltaj ve frekans kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca kaplanan numuneler serbest düşme testlerine tabi tutularak kaplama bölgesinden meydana gelen izlerin derinliği ve iz genişlikleri incelenmiştir.

Artan frekans ve voltaj genellikle ve çoğunlukla kaplama kalınlıklarının artmasına sebep olmaktadır. Ancak kullanılan alaşımların içerisindeki elementlerin ark sırasındaki buharlaşma potansiyelleri ve matrisle alaşım yapma kapasitesi kaplama kalınlıklarının değerlerini etkilemektedir. W kaplamalarda voltaj ve frekansa verilen tepki lineer olmasına karşın tungsten karbür kaplamada orta frekansların kaplama kalınlığının oluşmasında daha etkili olduğunu göstermektedir. Çelikte ise orta ve yüksek frekans daha homojen kaplama vermektedir.



Ortalama değerler genellikle W ile kaplamanın daha zor olduğunu göstermektedir. Ancak kullanılan elektrotlarda en incisi W elektrot olup kaplama sırasında kısa bağlanmasına rağmen yeterince kaplama performansı gösterememiştir. W'in öz direnci diğer elektrotlara göre daha fazla olması ve kesitinin ince olması ile beraber direncin diğer elektrotlara göre daha yüksek olması, bunda önemli bir etken olarak karşımıza çıkabilir; kaplama sırasında W elektrotun kızarması direncin daha da artmasına sebep olmakta ve bu da ark karakteristiğini etkilemektedir.

Gerek çelik kaplamanın ve gerekse WC kaplamanın kalınlıklarının W'e göre daha fazla olmasının diğer ve en önemli nedeni ise, WC ve Çelik elektrotlarının ark sırasındaki ergime kolaylığı, yani bir atomu iyon haline getirebilmek için gerekli olan iyonizasyon enerjisinin düşüklüğü ile açıklanabilmektedir. W elementinin tek başına iyonizasyon enerjisi yüksektir ve bu nedenle WC için daha kolay damla oluşumu ve ergime sağlanırken W elektrodun ergimesi daha zor olmaktadır (Lancaster 1984). Ayrıca, W elementinin özgül direncinin artan sıcaklıkla beraber artması da ark kaplama sırasında elektrodun ısınmasına ve dolayısıyla özgül direncin artmasına bağlı olarak ısı girdisini düşürmekte ve ergime oluşumunu azaltmaktadır.

Çelik ve W kaplamalara göre daha iyi performans gösteren WC kaplama daha önceki çalışmalarda da görüldüğü gibi daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmakta ancak altlık malzemenin düşük karbon içeriğinden dolayı WC'deki C'un damla oluşumunun ardından matris AISI 1008 ile alaşımlandırma sırasında WC'den ayrıldığı ve matris fazın C'ca zenginleştirilmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

İzlerin boyutsal ölçümleri göstermiştir ki, WC kaplama serbest düşme deneyinde en az deformasyon, yani, indent derinliği ile diğer kaplamalardan ayrılmaktadır. WC kaplama kesitindeki homojen ergiyik oluşumu düşük hızlı balistik bir darbe için iyi bir durdurucu etki yaratmaktadır. Bu etkenlere ilave olarak, WC kaplamanın kolaylıkla yapılabilmesi de, kaplama alanında porozitenin azalmasına sebep olmuştur.

WC'ün sahip olduğu yüksek sertlik kaplama sertlik değerlerinin de yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Alaşımli çeliğin ana malzeme ile olan uyumu iyi bir alaşımlandırma arayüzüne sahip olmasını sağlamışsa da düşük hızlı düşme testinde gerekli olan delme işlemine karşı gelme fonksiyonunu, sahip olduğu mikroyapı ve sertliği ile yerine getirememiştir.

#### 4. Teşekkür

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 18.FEN.BİL.49 kodlu proje ile desteklenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- Agarwal, A. and Dahotre, N.B., 1998. Pulse Electrode Deposition of Superhard Boride Coatings on a Ferrous Alloy, *Surface and Coatings Technology*, **106**(2-3), 242-250
- Binay, H., 2016. CTP Destekli AA-6082 T6 Levhalarda Terminal Balistik Özelliklerinin İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 78
- Bozkurt, A., 2018. ESD İle Sert Faz Kaplanmış Titanyum Alaşımlarının ve Çeliklerin Lazer ile İşlenmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, 82
- Brown, E.A, Sheldon, G.L. and Bayoumi, A.E. 1990. A Parametric Study of Improving Tool Life by Electrospark Deposition, *Wear*, **138**, 137-151.
- Chenglong, L., Dazhi, Y., Guoqiang, L. and Min, Q. 2005. Corrosion Resistance and Hemocompatibility of Multilayered Ti/TiN Coated Surgical AISI 316L Stainless Steel, *Materials Letters*, **59**(29-30), 3813-3819.
- Gil, L., Brühl, S., Jiménez, L., Leon, O., Guevara, R. and Staia, M.H. 2006. Corrosion Performance of the Plasma Nitrided 316 L Stainless Steel, *Surface & Coatings Technology*, **201**, 4424-4429.
- Gould, J. 2011. Application of Electro-Spark Deposition as a Joining Technology, *Welding Journal*, **90**, 191-197.
- Holliday, R., Parker, J.D. and Williams, N.T. 1995. Electrode Deformation When Spot Welding Coated Steels, *Welding in the World*, **35**(3), 160-164.
- Hong, X., Tan, Y.F., Zhou, C.H., Xu, T. and Zhang, Z.W. 2015. Microstructure and Tribological Properties of Zr-Based Amorphous-Nanocrystalline Coatings

- Deposited on the Surface of Titanium Alloys by Electrospark Deposition, *Applied Surface Science*, **356**, 1244-1251.
- Johnson, R.N. and Sheldon, G.L. 1986. Advances in the Electro-Spark Deposition Coating Process, *Journal of Vacuum Science and Technology*, **A4**, 2740-2745.
- Kayalı Y. ve Talaş, Ş., 2017. ESD Yöntemiyle WC Kaplanmış Çeliklerin Aşınma Davranışı, CIEA 2018, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 20-22 Eylül, 1-7
- Korkmaz, K., 2008. Elektrospark Biriktirme Yöntemiyle Mikro Alaşımli Çeliklerin Tungsten Karbür ile Kaplanması, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 102
- Lancaster, F., 1984. The Physical Properties of Fluids at Elevated Temperatures, Chapter 2, The Physics of Welding, Pergamon Press, 9-42
- Levashov, E.A., Zamulaeva, E.I., Kudryashov, A.E., Vakaev, P.V., Petrzhik, M.I. and Sanz, A. 2007. Materials Science and Technological Aspects of Electrospark Deposition of Nanostructured WC-Co Coatings onto Titanium Substrates, *Plasma and Processing of Polymers*, **4**, 293-300
- Milligan, J., Heard, D.W. and Brochu, M. 2010. Formation of Nanostructured Weldments in the Al-Si System Using Electrospark Welding, *Applied Surface Science*, **256**, 4009-4016.
- Sara, R.V. 1965. Phase Equilibria in the System Tungsten—Carbon, *Journal of the American Ceramic Society*, **48(5)**, 251 – 257.
- Srivathsa, B. and Ramakrishnan, N. 1997. On the Ballistic Performance of Metallic Materials, *Bulletin of Materials Science*, **20/1**, 111-123.
- Talaş, Ş. ve Gökçe, B., 2017. Elektrod Şeklinin EKB Yönteminde Güç Yoğunluğu ve Isı Transferi Şekline Etkisi, IDEFIS'17, Uluslararası Savunma Sanayii Sempozyumu, Kırıkkale, 123-130.
- Talaş, S., Mertgenç, E ve Gökçe, B. 2016. ESD coating of copper with TiC and TiB<sub>2</sub> based ceramic matrix composites, *Materials Science and Engineering*, **146**, 1-9.
- Theisen, W. 1998. Hartphasen, in Hartlegierungen und Hartverbundstoffe: Hrsg. Hans Berns. Springer-Verlag Berlin. 28
- Topaç, H., 2014. Çelik Yüzeylerin Elektrospark Alaşımlama Yöntemi Kullanılarak Kromkarbür- Nikelkrom İle Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 98
- Uysal, M., 2006. CrN, TiN Kaplanmış ve Kaplanmamış AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Korozyon Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 93
- Warnet, L. and Reed, P.E. 1999 Falling Weight Impact Testing Principles”, G. W. Swallowe Ed. “Mechanical Properties and Testing of Polymers, Springer, Chp 17, pp 66-70
- Wei, X., Chen, Z.G., Zhong, J. and Xiang, Y. 2016. Feasibility of Preparing Mo<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub>-Based Cermet Coating by Electrospark Deposition on High Speed Steel, *Surface Coating Technology*, **296**, 58-64.