



THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON WHITE LAYER THICKNESS AND SURFACE HARDNESS IN WIRE EDM OF HEAT-TREATED D2 COLD WORK TOOL STEEL

Hasan Ballıkaya*¹ , Mehmet Altuğ¹ 

¹Inönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, Mak. ve Met. Tek. Böl., Malatya, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In this study, the effects of cutting parameters of Sverker 21 cold work tool steel on the white layer and cutting surface hardness of the post-processing material were investigated using wire erosion (WEDM) method. The purpose of using high alloy steel; It is widely used in the molding industry due to its high hardness, wear resistance and toughness properties depending on the alloying element and carbon ratio it contains. Both commercial and heat-treated cold work tool steel were used in the experimental studies. Commercial sample and heat-treated sample, time between two arcs (μ s), voltage (V), liquid pressure (bar), wire tension (g), wire feed rate (m/min) were used as cutting parameters. Materials were cut using the Taguchi experimental design plan and the L₁₈ orthogonal array for the experiment design. As a result, the machined surface hardness and the regenerated white layer thickness were investigated. According to the ANOVA method, the most effective parameter on the white layer thickness is the commercial and heat-treated sample parameter with 57,236%. In the cut surface hardness values, the most effective parameter was the sample parameter at the rate of 98.627%.

Keywords: Wire-EDM, white layer, Taguchi, ANOVA.

ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TEL EROZYONDA İŞLENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN BEYAZ TABAKA KALINLIĞI VE YÜZEY SERTLİĞİNE ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada tel erozyon (WEDM) yöntemi kullanılarak Sverker 21 soğuk iş takım çeliğinin kesme parametrelerinin işleme sonrası malzemede oluşan beyaz tabaka ve kesme yüzeyi sertliğine etkileri incelenmiştir. Yüksek alaşımlı çeliğin kullanılmasındaki amaç; içerdiği alaşım elementi ve karbon oranına bağlı olarak yüksek sertlik, aşınma dayanımı ve tokluk özelliklerinden dolayı kalıpcılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasıdır. Deneysel çalışmalarda hem ticari hem de ısıtılmış soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak ticari numune ve ısıtılmış soğuk iş takım çeliği numune, iki ark arası süre (μ s), voltaj (V), sıvı basıncı (bar), tel gerginliği (g), tel ilerleme hızı (m/min) kullanılmıştır. Deney tasarımı için Taguchi deney tasarımı planı ve L₁₈ ortogonal dizini kullanılarak malzemeler kesilmiştir. Sonuç olarak işlenmiş yüzey sertliği ve yeniden oluşan beyaz tabaka kalınlığı incelenmiştir. ANOVA yöntemine göre beyaz tabaka kalınlığı üzerindeki en etkili parametre % 57.236 ile ticari ve ısıtılmış soğuk iş takım çeliği numune parametresidir. Kesilen yüzey sertlik değerlerinde ise en etkin parametre % 98.627 oranında numune parametresi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tel erozyon, beyaz tabaka, Taguchi, ANOVA.

1 Giriş

Tel erozyon ile talaş kaldırma alışılmamış talaşlı imalat arasında yerini almaktadır. Yöntem dielektrik sıvı içerisinde olan iletken malzeme ile tel elektrot arasında oluşan ardışık kıvılcımlar ile malzemeyi yüksek sıcaklıklarda eriterek kesme işlemi yapmaktadır. Oluşan kıvılcım sürekli akan tel ile iş parçası arasında meydana gelir. Yöntemin talaş kaldırma mekanizması esas olarak termal bir süreçtir. İş parçasından talaş koparmak için büyük miktarda termal enerji üretilir ve bu işlemden kesilen

yüzeyle belirli bir beyaz tabaka kalınlığı da meydana gelir. Beyaz tabaka, iş parçasının güvenilirliği ve ömrü üzerinde önemli ölçüde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, iş parçasının performansını değerlendirmek ve iyileştirmek için beyaz tabakayı tahmin etmek ve azaltmak önemlidir [1]. Tel erozyonunda işleme sonrası her kıvılcım iş parçası üzerinden bir parçacık koparır ve yüzeyde kraterler oluşturur. Ayrıca talaş kaldırma işlemi % 100 verimli olmadığından [2] eriyen malzemenin bir kısmı kesme yüzeyine yapışarak yeni bir yüzey katmanı oluşturur. Oluşan bu yeni katman, malzemenin esas

* Corresponding author.

E-mail address: hasan.ballıkaya@inonu.edu.tr (H. Ballıkaya)

Received 13 September 2021; Received in revised form 08 November 2021; Accepted 23 November 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.994690>

renginden farklı bir renkte olduğundan dolayı beyaz tabaka adını alır. Bu tabakanın mikro yapısı esas malzemeden farklıdır [3]. Çeliklerin mekanik özellikleri, yüzeye uygulanan işlemlerden sonra yüzey morfolojisindeki ve yüzey altındaki değişikliklere duyarlı olduğu bilinmektedir. Mussada ve diğ. (2016), tel erozyon ile kalıp çeliğinin yüzey ve yüzey altı yapılarını iyileştirmeye çalışmışlardır. Kesme parametrelerinin yeniden oluşan yüzey katmanını oluşumu üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Oluşan yeni yüzey katmanının yapısını SEM ile incelemişlerdir. İnceleme sonucu elde edilen verileri değerlendirip servo besleme ve tel hızının artması ile tabaka kalınlığının arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca tabaka kalınlığı boyunca mikro sertlik ölçümü sonucunda kalıp çeliğinin yüzey ve yüzey altı sertliğinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir [4]. Kumar ve diğ. (2016), tel erozyon ile talaş kaldırma işleminde yüzey çatlak yoğunluğu ve yeniden oluşan beyaz tabaka kalınlığı gibi parametreler açısından yüzey hasarının nicel değerlendirmesini yapmışlardır. İşlem koşullarının çatlak oluşumu üzerindeki etkisini, taramalı elektron mikroskopu kullanılarak incelenmişlerdir. İşlem parametreleri yüzey çatlak yoğunluğu ve yeniden oluşum katman kalınlığı işlenmiş numunelerin mikro yapısını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Ark (pulse) süresi, ark boşluk süresi ve akımının hem yüzey çatlak yoğunluğu hem de yeniden oluşum tabaka kalınlığı için en baskın parametreler olduğunu ifade etmişlerdir [5]. Manjaiah ve diğ. (2016) AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin tel erozyon yönteminde işleyerek kesme parametrelerinin malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları optimize etmek için Taguchi L27 ortogonal deney tasarım yöntemini ve ANOVA analiz yöntemini kullanmışlardır. Malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülük değerlerini etkileyen en önemli parametrenin darbe süresi (pulse on) olduğunu belirtmişlerdir [6]. Puri ve diğ. (2005), tel erozyon ile işlenmiş iş parçası yüzeyinde beyaz bir tabakanın oluşmasını önemli bir kusur olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada yüzey yanıt yöntemi ile beyaz tabaka kalınlığını modellemişlerdir. Beş seviyeli dört değişken içeren ikinci mertebeden döndürülebilir merkezi bileşik tasarım için deneysel bir plan ile deneysel araştırmayı gerçekleştirmek ve ardından girdi işlem parametrelerini yanıtla ilişkilendiren matematiksel modeli oluşturmak için kullanılmışlardır. Ayrıca, çalışmada yanıt üzerindeki tüm girdi parametrelerinin etkilerini kapsamlı bir analiz ile gerçekleştirmişlerdir [7]. Maher ve diğ. (2015), tel erozyon yöntemi sonucunda işlenen parçanın beyaz tabaka kalınlığının yüzey pürüzlülüğü kalitesini değerlendirmek için önemli bir faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında kaplamalı elektrot kullanarak beyaz tabaka kalınlığını tahmin etmek için uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) kullanılmışlardır. Tahmin edilen veriler ile ölçülen veriler arasındaki tahmin hatasını % 2.61 olarak belirtmişlerdir [8]. Jose ve diğ. (2009), tel erozyon yönteminde oluşan ısı yüksek sıcaklığın iş parçası yüzeyini etkilediği belirtmişlerdir. Yeniden katılmış bir tabaka olan beyaz tabaka yüzeyin kalitesini ve bileşenin ömrünü azalttığını ifade etmişlerdir. Çalışmada tel erozyon işlemi ile talaşlı imalat sırasında Ti6Al4V malzemesi yüzeyinde oluşan

beyaz tabaka üzerinde araştırmalar yapmışlar ve beyaz tabaka oluşumunu etkileyen parametreleri varyans analizi (ANOVA) ile belirlemişlerdir [9]. Straka ve diğ. (2016), pirinç tel elektrot kullanarak tel erozyon yönteminde EN X210Cr12 (W.-Nr. 1.2080) soğuk iş takım çeliğini kullanarak malzemede meydana gelen işlenmiş yüzeyin ince mikro sertleştirilmiş yüzey tabakası üzerinde deneysel araştırmalar yapmışlardır. Mikrosertlik deneysel ölçümlerine dayanarak, WEDM sonrası işlenmiş yüzeyin nihai kalitesini simüle etmek ve tahmin etmek için En Küçük Kareler Yöntemi (LSM) ile matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Mikrosertleştirilmiş yüzey katmanını homojenliğinin en aza indirilmesiyle ilgili boşaltma işleminin ana teknolojik parametrelerinin ayarlanması için öneriler verilmişlerdir [10]. Ilkhchi ve diğ. (2021) Nikel-titanyum (nitinol) şekil hafızalı alaşımların mikro telli elektro-deşarj işleminde (μ -WEDM) yüzeyindeki mikroskobik değişiklikleri incelemiştir. İşlenmiş yüzeyde beyaz tabaka olarak adlandırılan yeniden katılmış bir tabakanın şekil hafızasını ve elastik geri kazanım özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir. μ -WEDM süreç parametrelerinin etkilerini simüle etmek için bir sonlu eleman modeli (FEM) geliştirmişlerdir. Parametrelerinin beyaz tabaka oluşumu üzerindeki etkilerini, FEM sonuçlarına dayalı olarak ayrıntılı olarak inceleyip tahmin hata payının %14 olduğunu belirtmişlerdir [11]. Muthuramalingam ve diğ. (2020), diş malzemeleri olarak işlenmiş titanyum alaşımlarının işlenmesinde Taguchi-Grey analizine dayalı kriter karar verme yöntemini uygulamışlardır. Kalite ölçümlerini değerlendirmek için yeniden oluşan katman kalınlığı, tel aşınma oranı ve mikro sertlik sonuçları değerlendirilmiştir. Yüzey kalitesi analizinde optimal proses parametrelerini hesaplamışlardır. Taguchi-Grey kombinasyonunun kullanılması, işleme yüzeyinin kalitesinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur [12]. Taguchi deney tasarım yöntemi mühendislik alanında zamandan ve maliyet giderlerinden tasarruf etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Optimum sonuçların belirlenmesinde sonuçlar S/N oranlarına dönüştürülür ve ANOVA analizi yapıldıktan sonra parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisi % olarak değerlendirilir [13], [14].

Yapılan literatür çalışmalarında farklı malzemelerin tel erozyon ile işlenmesinde kesme parametrelerinin işlenebilirliği üzerine etkileri incelenmiştir. Ancak ısı işlem görmüş soğuk iş takım çeliğinin tel erozyon ile işlenmesindeki işlenebilirliği hakkında detaylı bir inceleme yapılmamıştır.

Bu çalışmada kalıp endüstrisinde oldukça yaygın kullanılan Sverker 21 soğuk iş takım çeliği, tel erozyon tezgâhında talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Deneysel hem ticari hemde ısı işlem görmüş numunelerin iş parçası yüzeyinde oluşan beyaz tabaka kalınlığı ve yüzey sertliği ölçümleri yapılmıştır. Taguchi L₁₈ ortogonal deney tasarımı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar S/N oranına dönüştürülerek AVONA analizi uygulanmıştır. Yapılan çalışma gelecekteki diğer çalışmalara ve sanayi uygulamalarına destek sağlayacaktır.

2 Materyal Metot

Bu çalışmada kalıpcılık alanında oldukça yaygın kullanılan Sverker 21 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Malzeme işlenmeden önce ısıtılma tabi

tutulmuştur. Isıl işlem öncesi malzeme sertliği ölçülmüş ve 227 HV sertlik değeri belirlenmiştir. Malzemenin ısıtılma işlemi Protherm 442 fırında yapılmıştır. Isıl işlem uygulama koşulları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Sverker 21’ in kimyasal birleşimi[14]

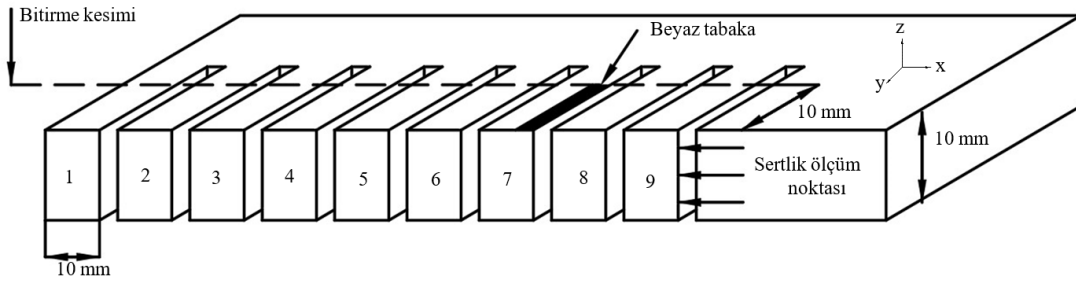
Element	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
% ağırlık	1.51	0.24	0.34	11.7	0.78	0.74	0,08

Tablo 2. Sverker 21’ e uygulanan ısıtılma işlem aşamaları[14]

Numune	Isıl İşlem
1	Ticari numune
2	1050 °C’ye kadar ısıtıldı ve 30 dakika beklendi + 525°C’ye kadar ısıtılıp çift temperleme olarak 2 saat beklendi ve oda sıcaklığında soğutuldu

Şekil 1’de gösterilen iş parçası 2 adet olacak şekilde ilk önce freze tezgâhında soğutma sıvısı kullanılarak uygun ölçülere getirilmiştir. Daha sonra ısıtılma işlemi için Tablo 2’de verilen ısıtılma şartları ile Protherm 442 ısıtılma fırınında işleme tabi tutulmuştur [16]. Ayrıca işlem parametrelerinin beyaz tabaka üzerindeki etkisini tam olarak belirlemek için 400, 600 ve

800 mesh kum boyutuna sahip zımparalar ile iş parçası üzerindeki hem yanık yüzey hem de kesici takım izleri ortadan kaldırılmıştır. Tel erozyon tezgâhına bağlanan iş parçası belirlenen deney şartlarına göre kesilmiştir. Deneyler ONA AF 25 Tel erozyon tezgâhında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan iş parçası

Deneyisel çalışmalar Taguchi L_{18} deney planına göre yapılmıştır. Deney parametreleri ve bu parametrelere ait seviyeler Tablo 3’de verilmiştir. Deney parametreleri ve

seviyeleri literatüre uygun bir şekilde oluşturulmuştur. Numune 1 ticari, numune 2 ise ısıtılma işlem görmüş malzemeyi ifade etmektedir.

Tablo 3. Tel erozyon kesme işleminde kullanılan parametreler ve seviyeleri

Sembol	Parametreler	Seviyeler		
		I	II	III
A	Numune	1	2	
B	İki ark arası süre (μ s)	50	70	90
C	Voltaj (V)	10	15	20
D	Sıvı basıncı (bar)	10	15	20
E	Tel gerginliği (g)	10	14	18
F	Tel ilerleme hızı (m/min)	5	7	9

Şekil 1’de sertlik ölçüm noktası olarak gösterilen bölgelerden mikro sertlik alınmıştır. Ölçülen mikro sertlik değerleri tüm kesme yüzeyinde farklılık göstereceğinden ölçümler birkaç paralel çizgide elde edilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri iş parçasının hem z eksenı boyunca hem de y eksenı boyunca ölçümler alınıp ortalaması belirlenmiştir. Mikro sertlik değerleri Emcotest-20 Durscan mikro sertlik ölçüm cihazından elde edilmiştir. Mikro yapının ve beyaz tabakanın görüntülenmesi için 2 ml HCl + 98 ml saf H_2O eklenerek çözelti içinde dağlanmıştır. Beyaz tabaka kalınlıkları Nikon Eclipse MA 200 optik mikroskop cihazında 1000X büyütmede ölçülmüştür.

3 Bulgular ve Tartışma

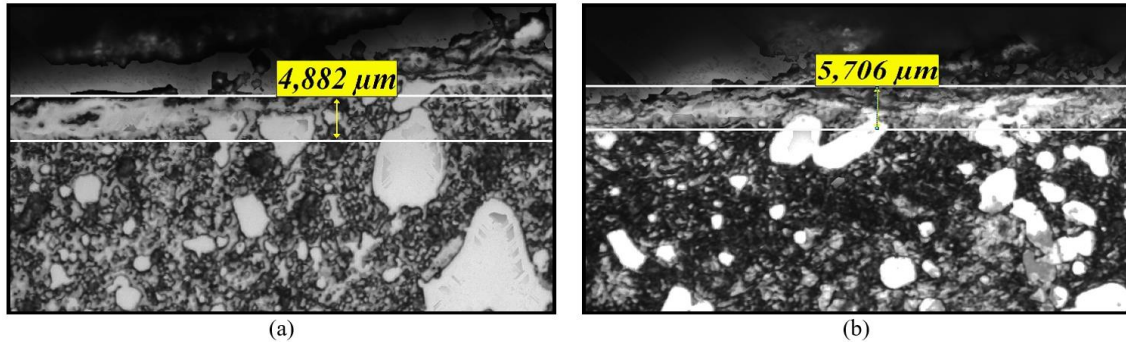
Taguchi deney tasarımı planı ve L_{18} ortogonal dizine göre hazırlanan deney tasarımı, sonuçlar ve S/N oranları Tablo 4’de verilmiştir. Şekil 3-4’de kesme parametrelerinin beyaz tabaka kalınlığı ve yüzey sertliği sonuçlarından elde edilen S/N oranlarının grafikleri verilmiştir. Tablo 4 ve Şekil 3-4 incelendiğinde parametrelerin beyaz tabaka kalınlığı ve işlem görmüş yüzey sertliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Deney tasarımı, sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Numune	İki ark arası süre (µs)	Voltaj (V)	Sıvı basıncı (bar)	Tel gerginliği (g)	Tel ilerleme hızı (m/min)	Ortalama Sertlik Değeri (HV)	S/N	Ortalama beyaz tabaka kalınlığı (µm)	S/N
1	1	50	10	10	10	5	267	-48,530	4,882	-13,772
2	1	50	15	15	14	7	271	-48,659	4,25	-12,568
3	1	50	20	20	18	9	241	-47,640	3,824	-11,650
4	1	70	10	10	14	7	279	-48,912	4,235	-12,537
5	1	70	15	15	18	9	285	-49,097	3,471	-10,809
6	1	70	20	20	10	5	254	-48,097	3,794	-11,582
7	1	90	10	15	10	9	282	-49,005	4,182	-12,428
8	1	90	15	20	14	5	260	-48,299	4,765	-13,561
9	1	90	20	10	18	7	275	-48,787	4,235	-12,537
10	2	50	10	20	18	7	575	-55,193	5,471	-14,761
11	2	50	15	10	10	9	650	-56,258	4,706	-13,453
12	2	50	20	15	14	5	598	-55,534	5,86	-15,358
13	2	70	10	15	18	5	653	-56,298	5,706	-15,127
14	2	70	15	20	10	7	665	-56,456	4,353	-12,776
15	2	70	20	10	14	9	660	-56,391	5,11	-14,168
16	2	90	10	20	14	9	625	-55,918	5,824	-15,304
17	2	90	15	10	18	5	651	-56,272	6,471	-16,219
18	2	90	20	15	10	7	685	-56,714	5,06	-14,083

Tel erozyon kesme yönteminde farklı işlem parametreleri farklı beyaz tabaka kalınlıklarına sebep olmaktadır. Beyaz tabaka kalınlıkları 18 numune üzerinden ölçülmüş ve kalınlık ortalamaları alınmıştır.

Şekil 2’de numunelerin beyaz tabaka kalınlıkları mikro yapı olarak gösterilmiştir. Tel erozyon işleminde oluşturulan beyaz tabaka değişken bir kalınlığa sahiptir ve yüzeyin bazı bölgelerinde kaybolur [17].



Şekil 2. Ticari (a) ve ısıtılmış işlem görmüş numune (b) beyaz tabaka kalınlığı ölçümleri

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen beyaz tabaka kalınlıkları sonuçları “En küçük En iyi” performans karakteristiğine göre S/N oranına dönüştürülmüş ve ANOVA analizi uygulanmıştır. Parametrelerin % etkileri Tablo 5’de gösterilmiştir. Bütün parametrelerin belirli bir etkiye sahip olduğu

görülmektedir. Beyaz tabaka kalınlığı üzerindeki en etkin parametre % 57.236 olarak ticari ve ısıtılmış işlemli numune parametresi olmuştur. Tel ilerleme hızı % 14.740 olarak ikinci etkin parametre olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın istatistiksel hata oranı ise % 3.460 olması çalışmanın oldukça uygun olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5. Beyaz tabaka kalınlığı için ANOVA sonuçları

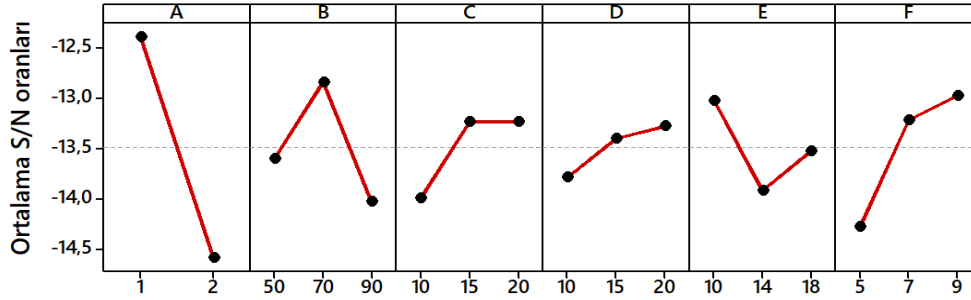
Parametreler	Serbestlik dereceleri	Toplam kareler	Varyans	F değeri	(%) dağılım
Numune	1	21.79279	21.7928	282.230	57.236
İki ark arası süre (µs)	2	4.35143	2.1757	28.177031	11.062
Voltaj (V)	2	2.29679	1.1484	14.8724	5.647
Sıvı basıncı (bar)	2	0.845	0.423	5.473701	1.821
Tel gerginliği (g)	2	2.444	1.222	15.82409	6.034
Tel ilerleme hızı (m/min)	2	5.74717	2.87358	37.214958	14.740
Hata	6	0.463	0.077		3.460
Toplam		37.941			100

Şekil 3’de ortalama S/N değerlerinden elde edilen grafik gösterilmektedir. Parametre seviyelerinin en iyi değeri S/N oranının en büyük olduğu değerdir. Isıtılmış işlem görmüş numunede ticari numuneye göre beyaz tabaka

kalınlığında düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar literatürdeki bazı çalışmalarda da görülmüştür [16]. Bu durum malzemenin ısıtılmış işlem sonrası mekanik ve termal özelliklerinin değiştiğinin bir sonucudur. İki ark arası süre

parametresinde optimum seviye en büyük S/N oranına sahip üçüncü seviyede elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [18]. Darbe süresi daha fazla olduğunda eriyik malzeme miktarı da artacağından malzeme yüzeyinde birikme meydana gelir ve beyaz tabaka kalınlığını artırır [9]. Bu nedenle iki ark arası süre en az seviyede olmalıdır. Bu çalışma da voltaj parametresinin en düşük seviye değerinde ise optimum beyaz tabaka kalınlığı seviyesine ulaşılmaktadır. Çünkü darbe voltajı daha yüksek olduğunda, tek bir kıvılcım tarafından üretilen erimiş hacim daha büyüktür. Tek

deşarj krateri derinleşir ve genişler, böylece beyaz tabaka kalınlığında bir artışa yol açar [9] [18]. Yalıtkan sıvı basıncı parametresinde ise artan basınç değerinde eriyik malzemenin kesme yüzeyinden hızla uzaklaşması sebebi ile yeniden oluşan tabakanın kesme bölgesinden uzaklaşmasını sağlayarak beyaz tabaka kalınlığında düşüş meydana gelmiştir. Tel gerginliği parametresinde optimum değer ikinci seviyede elde edilmiştir. Tel ilerleme hızının artması ile beyaz tabaka kalınlığının arttığı bazı çalışmalarda da görülmüştür [4].



Şekil 3. Parametre seviyelerinin beyaz tabaka üzerindeki etkisi

Tablo 6 incelendiğinde parametrelerin yüzey sertliğine etkisi % olarak belirtilmiştir. İşlenen yüzeydeki sertlik değeri için en etkin parametre, ticari ve ısıl işlem

parametresi % 98.627 değeri ile en etkin parametre olmuştur. Sistem hata oranı ise % 0.137' lik bir hata oranı ile yapılan işlemin doğruluğunu ortaya koymuştur.

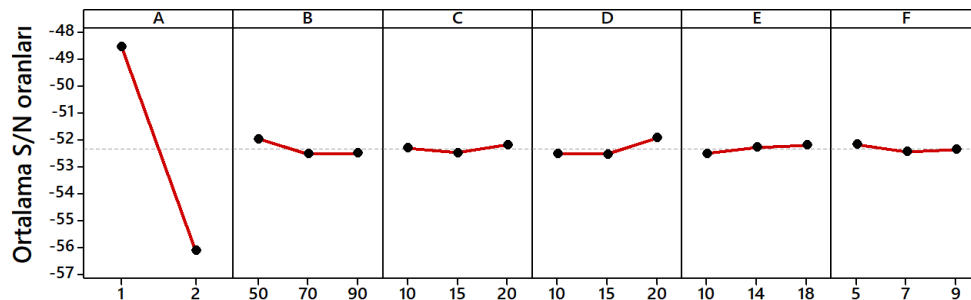
Tablo 6. İşlenen yüzey sertlik değeri için ANOVA sonuçları

Parametreler	Serbestlik dereceleri	Toplam kareler	Varyans	F değeri	(%) dağılım
Numune	1	257.64091	257.6409	12208.9680	98.627
İki ark arası süre (µs)	2	1.18393	0.50920	28.051852	0.437
Voltaj (V)	2	0.27078	0.1354	6.415	0.088
Sıvı basıncı (bar)	2	1.423	0.712	33.725319	0.529
Tel gerginliği (g)	2	0.309	0.154	7.321006	0.102
Tel ilerleme hızı (m/min)	2	0.25134	0.125671	5.955224	0.080
Hata	6	0.127	0.021		0.137
Toplam		261.206			100

Tel erozyon kesme yönteminde işlem gören iş parçasının ısıdan etkilenen bölgesi işlem parametreleri ile yakından ilişkilidir [10]. Bu durumda parametre ve seviyelerindeki değişiklik kesilen yüzeyde farkı sertlik değerlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Tel erozyon ile talaş kaldırma yönteminde işlenmiş yüzeyin mikro sertliği tekrarlanan ısıtma ve soğutma nedeni ile yüzey sertliğinin değiştiği görülmektedir. Yüzeyde üretilen termal etkiye hızlı su verme etkisi eşlik eder. Geçici termal dalgalar, yüzey sertliğinde artış meydana getirmektedir [6]. Şekil 4 incelendiğinde S/N oranının en büyük değeri parametrenin en uygun seviyesini göstermektedir. Ticari ve ısıl işlemlerine

parametresinde malzemeye ısıl işlem uygulamasından olayı ikinci seviyede sertlik değerinin arttığı görülmüştür. İki ark arası süre parametresinde üçüncü seviyede sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Darbe süresinin arttığı durumda ısıdan etkilenme süresi artacaktır ve ani soğuma nedeni ile sertlik değerinde artış meydana gelmiştir. Voltaj parametresinin optimum noktası seviyesi ikinci seviyedir. Sıvı basıncı parametresi üçüncü seviyede optimum noktayı yakalamıştır. Eriyik malzemenin soğutma hızını etki ederek yüzey sertliğini artırmıştır. Tel gerginliği parametresinin birinci seviyesi tel ilerleme hızının ise ikinci seviyeleri yüzey sertliğindeki artış için en uygun parametre olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Parametre seviyelerinin yüzey sertliği üzerindeki etkisi

4 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada Sverker 21 soğuk iş takım malzemesinin tel erozyon ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yeniden oluşan beyaz tabaka ve kesme yüzey sertliğine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma ve analizlere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Beyaz tabaka kalınlığı üzerindeki en etkili parametre % 57.236 ile ticari ve ısıtma işlem görmüş numune parametresidir.
- Tel ilerleme hızının artması ile beyaz tabaka kalınlığının arttığı görülmüştür.
- Diğer parametrelerin beyaz tabaka üzerindeki etkileri iki ark arası süre % 11.062, tel gerginliği % 6.034, voltaj % 5.647, yalıtkan sıvı basıncı ise % 1.821 olarak görülmüştür.
- Beyaz tabaka kesilen yüzey üzerinde bazı bölgelerde oluşmadığı belirlenmiştir.
- Kesilen yüzey sertlik değerlerinde ise en etkin parametre % 98.627 oranında numune parametresi olmuştur. Ticari numunenin sertliği 227 HV, ısıtma işlem görmüş numunenin sertliği ise 771 HV olarak ölçülmüştür. Kesilen yüzey sertliğinde ise ticari numunenin sertlik değerlerinde artış, ısıtma işlem görmüş numunenin ise sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Chen, Z. (2019). Study on the white layer in wire electrical discharge trim cutting of bearing steel GCr15. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(5), 2375-2386.
- [2] Izquierdo, B., Plaza, S., Sánchez, J. A., Pombo, I., & Ortega, N. (2012). Numerical prediction of heat affected layer in the EDM of aeronautical alloys. *Applied Surface Science*, 259, 780-790.
- [3] Cusanelli, G., Hessler-Wyser, A., Bobard, F., Demellayer, R., Perez, R., & Flükiger, R. (2004). Microstructure at submicron scale of the white layer produced by EDM technique. *Journal of Materials Processing Technology*, 149(1-3), 289-295.
- [4] Mussada, E. K., Hua, C. C., & Rao, A. K. P. (2018). Surface hardenability studies of the die steel machined by WEDM. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(16), 1745-1750.
- [5] Kumar, A., Kumar, V., & Kumar, J. (2016). Surface crack density and recast layer thickness analysis in WEDM process through response surface methodology. *Machining Science and Technology*, 20(2), 201-230.
- [6] Manjiaiah, M., Laubscher, R. F., Kumar, A., & Basavarajappa, S. (2016). Parametric optimization of MRR and surface roughness in wire electro discharge machining (WEDM) of D2 steel using Taguchi-based utility approach. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 11(1), 1-9.
- [7] Puri, A. B., & Bhattacharyya, B. (2005). Modeling and analysis of white layer depth in a wire-cut EDM process through response surface methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(3-4), 301-307.

- [8] Maher, I., Sarhan, A. A., Marashi, H., Barzani, M. M., & Hamdi, M. (2015). White layer thickness prediction in WEDM-ANFIS modeling. *In Proceedings of Malaysian International Tribology Conference* (Vol. 2015, pp. 240-241).
- [9] Jose, J. V., & Shunmugam, M. S. (2009). Investigation into white layer formed on wire electrical discharge machined Ti6Al4V surface. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 6(3-4), 234-249.
- [10] Straka, E., Čorný, I., & Piteř, J. (2016). Properties evaluation of thin microhardened surface layer of tool steel after wire EDM. *Metals*, 6(5), 95.
- [11] Ilkhchi, R. N., Akar, S., Meshri, H. A. M., & Seyedzavvar, M. (2021). Prediction of white layer formation in μ -WEDM process of NiTi shape memory superalloy: FEM with experimental verification. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(9), 2805-2817.
- [12] Thangaraj, M., Annamalai, R., Moiduddin, K., Alkindi, M., Ramalingam, S., & Alghamdi, O. (2020). Enhancing the surface quality of micro titanium alloy specimen in WEDM process by adopting TGRA-based optimization. *Materials*, 13(6), 1440.
- [13] Özlü, B., Akgün, M., & Demir, H. (2019). AA 6061 Alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(2), 151-158.
- [14] Işık, R., Özlü, B., & Demir, H. (2021). St-37 Malzemesinin Lazer ile Kesme İşleminde Seçilen Parametrelerin Etkisinin Deneysel ve İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Firat University Journal of Engineering*, 33(1).
- [15] Randelius, M., Sandström, R., & Melander, A. (2012). Fatigue strength of conventionally cast tool steels and its dependence of carbide microstructure. *Steel Research International*, 83(1), 83-90.
- [16] Dhobe, M. M., Chopde, I. K., & Gogte, C. L. (2013). Investigations on surface characteristics of heat treated tool steel after wire electro-discharge machining. *Materials and manufacturing processes*, 28(10), 1143-1146.
- [17] Ayesta, I., Izquierdo, B., Flano, O., Sánchez, J. A., Albizuri, J., & Aviles, R. (2016). Influence of the WEDM process on the fatigue behavior of Inconel® 718. *International Journal of Fatigue*, 92, 220-233.
- [18] Maher, I., Sarhan, A. A., Marashi, H., Barzani, M. M., & Hamdi, M. (2016). White layer thickness prediction in wire-EDM using CuZn-coated wire electrode-ANFIS modelling. *Transactions of the IMF*, 94(4), 204-210.