

Can ÇOĞUN

Y.Doç.Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Abdülkadir ERDEN

Doç.Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Elektro - Erozyon (EDM) İle İşleme Performansının Bilgisayar Yardımı İle Belirlenmesi ve Denetimi

Gerilim vurum zincirlerinin süre ve gerilim karakteristiklerinden faydalanılarak, işleme sırasında işparçası işleme ve elektrot aşınma hızının saptanmasını ve denetimini sağlamak üzere Elektro-Erozyon ile işleme için bir adaptif denetim sistemi geliştirilmiştir. İşleme koşullarının algılanmasında boşalım tipi vurumların gecikme süreleri ile kısa devre, ark ve boşalım tipi olmak üzere 3 ayrı tip vurumun istatistiksel oluşumu kullanılmıştır.

GİRİŞ

Elektro-Erozyon ile İşleme (Electric Discharge Machining-EDM) karmaşık biçimlerin ve alıılmış yöntemlerle sertliği nedeniyle işlenmesi zor olan malzemelerin işlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Son 20 yıldır elekroniğin hızlı gelişimine paralel olarak gelişen adaptif denetim sistemleri, elektro-erozyon ile işleme performansının adaptif olarak değerlendirilmesi ve denetimi yönündeki çalışmalara da hız vermiştir. Elektro-erozyon ile işlemede, işleme performansının göstergesi olarak kullanılan parametreler iş parçasının işleme hızı, elektrot aşınması ve yüzey kalitesidir. Ancak bu parametrelerin işleme anında ölçülebilmesinin günümüz teknoloji seviyesindeki zorluğu, araştırmacıları, bu performans değişkenlerini bazı dolaylı yöntemlerle değerlendirme ve denetime sevk etmiştir. Bu dolaylı yöntemlerden biri işleme ortamından yayılan ve bir anten vasıtasıyla algılanabilen radyo frekansındaki (r.f.) sinyalleri kullanarak değerlendirmeler yapmaktır. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar [1,2,3] gerek radyo frekansı sinyallerinin işleme esnasında oluşan 4 ayrı tip oluşumun (açık devre, kısa devre, ark ve boşalım) ayırt edilmesinde yeterince aydınlatıcı olmaması ve gerekse konuyla ilgili olarak geliştirilen denetim sisteminin sadece ark tipi vurumların oluşumunu azaltmaya yönelik olması nedeniyle bir bütün olmaktan uzaktır. Diğer bir dolaylı yöntem, işleme ortamındaki (elektrotlar arası ortam) dielektrik sıvının deionizasyon seviyesinin ortama uygulanacak yeni vurumun zamanlanmasında kullanımıdır. Konu ile ilgili araştırmacılar [4,5] vurumların bitiminden sonra dielektrik ortamdan çok düşük bir akım (30-100 mA) geçirerek ortamın elektriksel geçirgenliğini saptamış ve yeni vurumun ne zaman uygulanması gerektiğini bularak işleme esnasında faydalı yönde malzeme aşındıran boşalım tipi vurumların sürekliliğini sağlamışlardır. Ancak yapılan çalışmaların azlığı ve çalışmalardaki neticelerin birbirinden kopukluğu bu yaklaşımın

daha uzun ve kapsamlı bir araştırmaya gereksinim gösterdiğini açıkça vurgulamaktadır.

Günümüzde elektro-erozyon ile işlemenin adaptif olarak değerlendirilmesi ve denetimi konusundaki çalışmaların büyük bir kısmı işleme esnasında kaydedilebilen gerilim vurum biçimlerinin (voltage pulse waveforms) oluşumlarının sayısının saptanması, anlamlandırılması ve tezgah parametrelerinin bu neticelere göre yeniden ayarlanması doğrultusundadır. Zira gerilim vurum biçimleri, işleme esnasında ölçülemeyen performans verilerini detaylı olarak yansıtabilen belirgin özelliğidir. ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde de gerilim vurum biçimlerinin kaydedilmesi ve bazı özelliklerinin incelenmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [6-8]. Vurum zincirlerinin sistem performansının denetiminde kullanımı ile ilgili ilk çalışma 1973'de yayılan Koenig ve Kurr'a [9] ait bir çalışmadır. Bu çalışmada işparçası işleme hızının en üst seviyeye çıkarılabilmesi için boşalım tipi vurumlarının oluşum sayısının en üst seviyeye çıkarılması esas alınmış ve elektrotun ilerleme hızı ayarlanan değişken olarak kullanılmıştır. Boşalım tipi vurumların tanımlanması, sayısının saptanması ve ilerleme hızının yeni değerine karar verilmesi bilgisayar yardımı ile sağlanmış ve işleme hızında oldukça önemli bir artış sağlanmıştır [9]. Bu çalışmayı takiben yürütülen diğer bir çalışmada [10] aktif işleme süresini en üst seviyeye çıkarmada boşalım tipi vurumların gecikme sürelerinin en az seviyeye düşürülmesi mantığı kullanılmıştır. Bunun için her boşalım tipi vurumun gecikme süresi ölçülmüş ve vurum ara süresi önceden belirlenen bir stratejiye uygun olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmaya paralel yürütülen bir çalışmada [11] ise vurum ara süresinin kontrolü yanında ilerleme hızı adaptif kontrol parametresi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalarda işparçası işleme hızı artışı ile beraber elektrot aşın-

masında da önemli seviyede azalma sağlanmıştır. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda ise boşalım tipi vurumlar gecikme sürelerine göre gruplandırılmış ve her gruptaki vurum sayısı ile işparçası işleme hızı ve elektrot aşınması arasında eğilimler belirlenmiştir [12,13]. Bu ön çalışmaları takiben yapılan bir çalışmada [14] saptanan bu eğilimler esas kabul edilerek ve vurum ara süresi, ilerleme hızı ve ilerleme sistemi servo tepki hızı ayarlanarak adaptif bir denetim sistemi geliştirilmiştir. Kurulan sistemin özellikle elektrot aşınmasının en aza indirilmesinde oldukça iyi neticeler verdiği belirtilmiştir [14].

Gerilim vurum zincirlerini kullanarak adaptif denetimi amaçlayan çalışmalarda görülen boşlukların giderilebilmesi için aşağıda belirtilen hususların üzerine eğilinmesi gereklidir.

1. Kaydedilen vurum zincirlerinin analizi ve vurum tiplerinin tanımlanabilmesi ve neticelerin en süratli biçimde karar birimlerine iletilebilmesi için daha hızlı çalışan bir mantık sisteminin geliştirilmesi,

2. Vurum zincirlerinin analizi sonucu elde edilen bilgilerin işleme performansı ile ilgili yeterince bilgiyi içeren indirgenmiş veriler haline sokulması ve böylece karar birimlerinde kararlara daha hızlı varılmasını sağlayacak yaklaşımların oluşturulması,

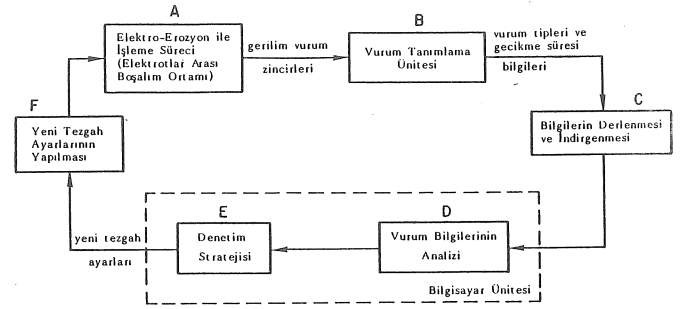
3. Vurum zincirlerindeki çeşitli oluşumların (vurumların) işparçası işleme hızına ve elektrot aşınmasına etkisinin sayısal olarak bulunabilmesi için gerekli deneysel ve matematiksel yöntemlerin geliştirilmesi.

Yukarıda belirtilen hususlarda, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında SM17 Hayes Sparcatron tipi (SPF30W transistörlü tip sinyal üretçili) bir elektro-erozyon tezgahı kullanarak bir bilgisayar denetimli adaptif kontrol sistemi geliştirilmiş ve denenmiştir. Bu makalede kurulan sistemin çalışma prensipleri ve sistemi oluşturan üniteler tanıtılacaktır.

BİLGİSAYAR DENETİMLİ ELEKTRO-EROZYON SİSTEMİ

İlkeler

Geliştirilen sistemin en basit blok şeması Şekil 1'de görülmektedir. Kurulan sistemde işleme esnasında elektrotlar arası ortamdan alınan gerilim vurum zincirleri işleme performansını yansıtan değişkenler olarak kullanılmaktadır. Analog vurum dalga biçimleri elektronik bir devreden geçirilerek ardışık olarak sıralanan vurumların tipleri (ark, boşalım, kısa devre, açık devre) ve boşalım vurumlarının gecikme süreleri belirlenmektedir (blok B). Daha hızlı bir denetim karar mekanizmasını sağlamak için elde edilen bilgiler ön bir elemenden geçerek detaylı bir analiz için bilgisayar ünitesine yollanmaktadır (blok C). Bilgisayar, gelen bilgileri denetim stratejisi yazılımına yollanacak şekilde istatistiksel olarak derlemektedir (blok D). Denetim stratejisi derlenmiş vurum bilgilerini ve önceden karar verilen denetim esasları dahilinde yeni tezgah parametrelerine karar vermek-



Şekil 1 Bilgisayar denetimli elektro-erozyon sisteminin basit blok şeması

tedir (blok E). Bu yeni değerler tezgah üzerinde ara devreler yardımıyla ayarlanmaktadır (blok F).

Geliştirilen Sistem

Geliştirilen bilgisayar denetimli elektro-erozyon sistemi işlevleri açısından dört ana kısımda incelenebilir (Şekil 2).

1. Komparator ve sayaç ünitesi,
2. Mikro-işlemci ünitesi,
3. Bilgisayar ünitesi,
4. Tezgah parametrelerini ayarlama ünitesi.

Komparator ve Sayaç Ünitesi: Bu ünite elektrotlar arası ortamdan alınan analog gerilim zincirlerini (V_W) önceden belirlenen iki gerilim eşik seviyesinde (V_L ve V_H) karşılaştırır. Vurum tiplerini belirlemede kullanılan bu iki eşik seviyesi, vurum zincirlerindeki değişik vurum tiplerinin saptanması ve bunların gerilim ve zaman karakteristiklerinin belirlenmesi ile ilgili ön çalışmaların neticesinde elde edilmiştir. Komparator devresinde her vurumun başlangıcında ve sönümünde gerilim seviyesi (V_W) eşik seviyeleri ile karşılaştırılmakta ve karşılaştırma anı sinyal üretici sinyallerinin (V_{SG}) tetiklemede kullanılması ile belirlenmektedir. Sayaç devresi ise vurumların gecikme sürelerini ölçmektedir (frekansı 2MHz). Üst eşik seviyesini (V_H) geçen her V_W seviyesi sayaç devresini çalıştırmaktadır. Ölçülebilen en küçük gecikme süresi 0.5 μ s, en uzununu ise 2048 μ s'dir. Komparator devresinde vurumların gerilim karakteristiklerinin digital 1 ve 0 sinyalleri şeklinde belirlenmesini takiben, bu sinyallerin hangi vurum tipine ait olduğunun saptanması için bilgiler mikro-işlemci ünitesine yolları (Şekil 2). Komparator ve sayaç devresinin çalışma prensipleri ve devre şemaları detaylı olarak daha önce verilmiştir [15].

Mikro-işlemci Ünitesi: Mikro-işlemci ünitesinin görevleri aşağıda verilmiştir.

- a) Komparator ve sayaç devrelerinden gelen vurum bilgilerini (4 bitlik tip ve 12 bitlik gecikme süresi) 16 bitlik buffer'a ve depolamayı takiben bellek ünitesine V_H sinyali tarafından tetiklenince

olarak). Ardaşık oluşum diğer bir tip vurum tarafından kesilmeyen bir tip vurumun ardaşık oluşum sayısıdır.

b) Boşalım vurumlarının oluşumunun gecikme sürelerine göre dağılımı (sayısal ve grafiksel olarak).

c) Boşalım tipi vurumların boşalım sürelerinin kaydedilen vurum seti için ortalaması.

d) Toplam kayıt süresi.

Bu yazılımdan elde edilen örnek bir çıktı Şekil 3'te verilmiştir.

DENEY NO	49.4
DENEY TARİHİ	21.6.1986
ELEKTROT MALZEMESİ	BAKIR
ELEKTROT NO	68
ELEKTROT AĞIRLIĞI (İLK)	64.501 g
İS PARÇASI MALZEMESİ	CELİK
İS PARÇASI NO	68
İS PARÇASI AĞIRLIĞI (İLK)	70.743 g
POLARİTE (İS PARÇASI)	POZİTİF
DENEY SÜRESİ	180 S
VURUM SÜRESİ (us)	104
VURUM ARA SÜRESİ (us)	144
İLERLEME HIZI (%)	25
DİELEKTRİK BASINCI (bar)	0.4
BOSALIM AKIMI	30 A'nın % 25'i

TOPLAM VURUM SAYISI	62914
ACIK DEVRELERİN SAYISI	2843 % 4.52
KISA DEVRELERİN SAYISI	7922 % 12.59
ARKLARIN SAYISI	43582 % 69.27
BOSALIMLARIN SAYISI	8556 % 13.60
ORTALAMA BOSALIM SÜRESİ	17.10 us
TOPLAM KAYIT SÜRESİ	9.06 s

ACIK DEVRE VURUMLARIN ARDASIK OLUSUMU

ARDASIKLIK	FREKANS
1	220 I*****
2	62 I*****
3	25 I*****
4	18 I*****
5	15 I*****
6	12 I*****
7	9 I*****
8	12 I*****
9	8 I*****
10	5 I*****
11	7 I*****
12	6 I*****
13	7 I*****
14	1 I*****

KISA DEVRE VURUMLARIN ARDASIK OLUSUMU

ARDASIKLIK	FREKANS
1	4057 I*****
2	4 I*****
3	3 I*****
4	3 I*****
5	0 I*****
6	1 I*****
7	1 I*****
8	0 I*****
9	1 I*****
10	2 I*****

BOSALIMLARIN ARDASIK OLUSUMU

ARDASIKLIK	FREKANS
1	5534 I*****
2	937 I*****
3	252 I*****
4	77 I*****
5	32 I*****
6	12 I*****
7	5 I*****
8	4 I*****
9	3 I*****
10	7 I*****

ARKLARIN ARDASIK OLUSUMU

ARDASIKLIK	FREKANS
1	1716 I*****
2	928 I*****
3	520 I*****
4	371 I*****
5	258 I*****
6	209 I*****
7	170 I*****
8	131 I*****
9	118 I*****
10	95 I*****
11	76 I*****
12	76 I*****
13	68 I*****
14	41 I*****
15	42 I*****
16	40 I*****
17	32 I*****
18	27 I*****
19	26 I*****
20	17 I*****
21	28 I*****
22	25 I*****
23	19 I*****
24	16 I*****
25	16 I*****
26	14 I*****
27	24 I*****
28	15 I*****
29	12 I*****
30	14 I*****
31	13 I*****

BOSALIMLARIN GECIKME SURELERINE GORE OLUSUMU

GEÇİKME SÜRESİ (us)	FREKANS
2	503 I*****
4	626 I*****
6	1822 I*****
8	914 I*****
10	665 I*****
12	503 I*****
14	421 I*****
16	346 I*****
18	290 I*****
20	244 I*****
22	216 I*****
24	185 I*****
26	163 I*****
28	148 I*****
30	119 I*****
32	118 I*****
34	109 I*****
36	84 I*****
38	67 I*****
40	76 I*****
42	74 I*****
44	60 I*****
46	58 I*****
48	47 I*****
50	51 I*****
52	51 I*****
54	54 I*****
56	40 I*****
58	35 I*****
60	41 I*****
62	27 I*****
64	28 I*****
66	24 I*****
68	30 I*****
70	37 I*****
72	19 I*****
74	22 I*****
76	26 I*****
78	21 I*****
80	17 I*****
82	17 I*****
84	16 I*****
86	21 I*****
88	10 I*****
90	12 I*****
92	17 I*****
94	13 I*****
96	22 I*****
98	16 I*****
100	13 I*****
102	10 I*****

Şekil 3 Vurum zincir özelliklerinin istatistiksel analizini gösteren örnek bir çıktı

Elektro-Erozyon İşlemi Denetim Stratejisi: Denetim stratejisi yazılımı bilgisayar denetimli elektro-erozyon sisteminin işlevsel olarak en önemli kısmını oluşturur. Denetim stratejisi işleme sırasında performans değerlerinin belirlenmesini ve işlemeyen önce kullanıcı tarafından belirlenecek bir seçeneğe göre işparçası işleme hızının maksimize veya elektrot aşınmasının minimize edilmesini sağlar. Yazılımın girdileri istatistiksel olarak derlenmiş vurum analiz neticeleri; çıktıları ise tezgahın yeni tezgah parametrelerinin (vurum süresi, vurum ara süresi, boşalım akımı, ilerleme hızı ve dielektrik sıvı basıncı) rakkamsal değerleridir. Yazılım geniş deneysel ön çalışmalar sonucu elde edilen istatistiksel vurum analizleri ve performans değişkenleri (işparçası işleme hızı, elektrot aşınması) arasında kurulan ilişkilerden faydalanılarak hazırlanmıştır. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar neticesinde, kaydedilen vurum zincirlerinin istatistiksel karakteristiklerinden performans verilerinin doğru olarak ve en kısa sürede elde edilebilmesi için vurumların aşağıdaki biçimde gruplandırılmasının ve gruplardaki oluşum sayısının denetim stratejisine girilmesinin uygun olacağı anlaşılmıştır [16].

- GI. Kısa devre vurumların oluşumu,
 GII. Ark tipi ve gecikme süreleri vurum süresinin % 15'ini geçmeyen boşalımların oluşumu,
 GIII. Gecikme süreleri vurum süresinin % 15'inden daha uzun olan boşalımların oluşumu.

Bu üç gruptaki vurumların oluşum sayıları ile performans verileri arasındaki ilişkiler deney neticelerinden faydalanılarak saptanmıştır. Bilgisayar yardımı ile gruplarda bulunan vurumların her birinin işparçası ve elektrottan ne kadar malzeme aşındırdığı tespit edilmiş ve bu değerler çeşitli tezgah parametreleri için matematiksel eşitlikler biçiminde ifade edilmiştir (Çizelge 1). Eşitliklerin geçerli olduğu tezgah ayar aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Maksimum işparçası işleme hızı veya minimum elektrot aşınmasının elde edilebilmesi için tezgah ayarlarında yapılması gereken değişiklikler Çizelge 3'de belirtilmiştir. Deneysel olarak elde edilen bu ayarlar da denetim stratejisi yazılımında yer almıştır.

Tezgah Parametrelerini Ayarlama Ünitesi: Denetim stratejisi tarafından saptanan yeni tezgah ayar değerleri CPU tarafından ACIA aracılığıyla Tezgah Parametrelerini ayarlama ünitesine gönderilir. Bu ünite vurum süresi ve vurum ara süresi; ilerleme hızı ve dielektrik sıvı basıncı; ve boşalım akımı kontrol devresi olmak üzere üç ayrı devreden oluşmaktadır. Bu devreler ACIA yoluyla denetim stratejisinden yollanan sayısal (digital) ayar değerlerini analog forma çevirip ayar potlarına yollarlar.

Geliştirilen Sistemin Kabiliyetleri

Bilgisayar denetimli bu sistem 3 ayrı modda

Çizelge 1 Vurum gruplarındaki her bir vurumun işparçası ve elektrot aşınmasına etkisi

$$(C_{Gi}) = K(I)^a(t_s)^b(t_t)^c(P_d)^d(F)^e$$

[$\mu\text{g}/\text{vurum}$] (%) (μs) (μs) (bar) (%)

Sabitler	$K \times 10^{-5}$	a	b	c	d	e
$(C_{GI})_{W.R}$	2.5	1.016	1.003	0.026	0.122	0.063
$(C_{GII})_{W.R}$	17	1.021	1.018	0.008	0.031	0.015
$(C_{GIII})_{W.R}$	16	1.004	1.001	0.002	0.060	-0.063
$(C_{GI})_{E.W}$	6.9	1.560	-0.121	0.870	0.109	0.052
$(C_{GII})_{E.W}$	3.3	1.502	0.118	0.842	0.041	0.040
$(C_{GIII})_{E.W}$	1.2	1.590	0.099	0.880	0.053	-0.058

$(C_{Gi})_{W.R}$: Her bir grup i vurumunun işparçasından aşındırdığı malzeme miktarı (i=I,II,III)

$(C_{Gi})_{E.W}$: Her bir grup i vurumunun elektrottan aşındırdığı malzeme miktarı (i=I,II,III)

- I : Boşalım akımı
 t_s : Vurum süresi
 t_t : Vurum süresi + vurum ara süresi
 P_d : Dielektrik sıvı basıncı
 F : İlerleme hızı

Çizelge 2 Deneyselerde esas alınan tezgah ayar aralıkları

Vurum Süresi [μs]	Vurum Ara Süresi [μs]	Boşalım Akımı (30 A'nın %'si)	Dielektrik Sıvı Basıncı [bar]	İlerleme Hızı (21 mm/s'nin %'si)
32-152	48-216	25-100	0.2-1.5	18-31

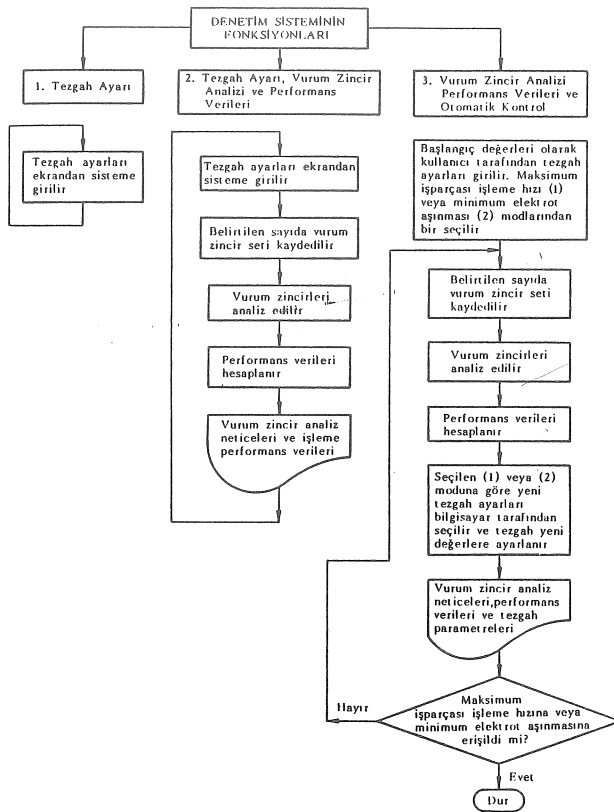
Çizelge 3 Tezgah parametrelerinin işparçası işleme ve elektrot aşınma hızındaki etkisi

Tezgah Parametreleri	Vurum Süresi	Vurum Ara Süresi	Boşalım Akımı	Dielektrik Sıvı Basıncı	İlerleme Hızı
İşparçası İşleme Hızını Artırmak İçin	↗	↘	↗	↗	↗
Elektrot Aşınmasını Azaltmak İçin	↗	↘	↘	↗	↘

fonksiyon gösterebilecek şekilde geliştirilmiştir. Şekil 4'te bu modlar ve ilgili ara işlemler görülmektedir. Şekil 5'te, Şekil 4'deki 2 ve 3 no.lu çalışma fonksiyonlarının çıktısı olarak alınan vurum zincir analizi ve işleme performans verilerine örnek bir deney neticesi verilmektedir.

Denetim Sisteminin Performansı

Geliştirilen bilgisayar denetimli elektro-erozyon sisteminin performansının gerçek işleme şartlarında



Şekil 4 Denetim sistemi yazılımının çalışma modları ve mantığı

İŞLEME PARAMETRELERİ

VURUM SÜRESİ	100 us
VURUM ARA SÜRESİ	140 us
İLERLEME HIZI	% 25
DİELEKTRİK BASINCI	0.5 bar
BOSALIM AKIMI	% 50

VURUM ZİNCİRİ ANALİZİ NETİCELERİ

KAYDEDİLEN VURUM SAYISI	10769
ACIK DEVRE VURUMLAR	% 10.02
GI VURUMLAR	% 4.24
GII VURUMLAR	% 60.75
GIII VURUMLAR	% 5.00

İŞLEME PERFORMANS VERİLERİ

GI VURUMUNUN ELEKTROTTAN AŞINDIRDIĞI MALZEME	0.650 ug
GII VURUMUNUN ELEKTROTTAN AŞINDIRDIĞI MALZEME	0.320 ug
GIII VURUMUNUN ELEKTROTTAN AŞINDIRDIĞI MALZEME	0.080 ug
GI VURUMUNUN İŞPARÇASINDAN AŞINDIRDIĞI MALZEME	0.148 ug
GII VURUMUNUN İŞPARÇASINDAN AŞINDIRDIĞI MALZEME	1.156 ug
GIII VURUMUNUN İŞPARÇASINDAN AŞINDIRDIĞI MALZEME	0.656 ug
ELEKTROT AŞINMASI	0.121 g/dak
İŞPARÇASI İŞLENE HIZI	0.495 g/dak

Şekil 5 Vurum zinciri analizi ve işleme performans verilerini gösteren örnek bir çıktı

denenebilmesi için bir seri deney yapılmıştır. Deneylerden elde edilen performans verileri (işparçası işleme hızı ve elektrot aşınması) bilgisayarın hesapladığı performans verileriyle karşılaştırılmıştır. Süresi 180 s olarak alınan deneylerde herbiri 2048 ardaşık vurumdan oluşan 30 set vurum zinciri kaydedilmiş

ve her 5 sette işleme performans verileri bilgisayar tarafından hesaplanmış ve kaydedilmiştir. Deney tamamlandıktan sonra işparçasının ve elektrotun aşınmaları deney öncesi değerleri ile karşılaştırılmış ve deneysel performans verileri elde edilmiştir. Her biri 5'er sete ait 6 adet bilgisayar çıktısı performans değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Deneyel ve bilgisayardan hesaplanan veriler karşılaştırıldığında elektrotlar için \pm % 10'luk, işparçası için \pm % 5'lik bir farklılık tespit edilmiştir. Çizelge 4'te tezgah ayarları, deneysel ve bilgisayar verileri ve saptanan farklılıklar verilmektedir.

Çizelge 4 Bilgisayar denetimli sistemin performans verileri ile deneysel neticelerin karşılaştırılması

Test No	Tezgah Ayarları					Malzeme Aşındırma (g/dak)				FARK (%)	
	t_s (μ s)	t_e (μ s)	F (%)	P (bar)	I (%)	(a) Bilgisayar Sistemi (ortalama)		(b) Deneysel		$\frac{(b-a)}{a}$	
						Elektrot	İşparçası	Elektrot	İşparçası	Elektrot	İşparçası
1	104	136	25	0.4	25	0.038	0.201	0.041	0.213	7.3	5.6
2	104	136	25	0.4	50	0.126	0.442	0.133	0.455	5.2	2.9
3	104	136	25	0.4	100	0.379	0.930	0.394	0.949	3.8	2.0
4	104	136	25	1.5	50	0.121	0.442	0.110	0.424	-10.1	-4.2
5	104	136	31	0.4	50	0.132	0.452	0.143	0.479	7.7	5.6
6	104	168	25	0.4	50	0.135	0.393	0.129	0.304	-4.6	2.7
7	104	120	25	0.4	50	0.116	0.477	0.108	0.467	-7.4	-2.4
8	48	64	25	0.4	50	0.131	0.346	0.143	0.370	8.4	6.5
9	152	216	25	0.4	50	0.116	0.440	0.130	0.453	10.8	2.9

SONUÇ

Bu çalışmada gerilim vurum zinciri karakteristikleri elektro-erozyon ile işleme (EDM) sürecinin adaptif olarak değerlendirilmesi ve denetiminde kullanılmıştır.

Vurum zincirlerindeki vurumların tanımlanabilmesi için yüksek hızlı bir vurum tanımlama devresi geliştirilerek vurum tiplerinin ve boşalmalarının gecikme sürelerinin ardaşık olarak kaydedilebilmesi sağlanmıştır. Bilgisayar ünitesine vurumların sadece tip bilgisi yollanarak gerek transfer gerekse bellek alanından önemli bir tasarruf sağlanmıştır. Vurum zincirlerindeki vurumlar, birbirlerine benzer malzeme aşındırma karakteristikleri esas alınarak kaydıyla üç ana gruba toplanmıştır. Bu gruplama sayesinde denetim stratejisine oldukça az sayıda bilgi girilmiş ve böylece çok daha kısa bir sürede yeni işleme parametrelerine karar verilmesi mümkün olmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda her grup vurumun iş parçasından ve elektrottan aşındıracağı malzeme miktarları matematiksel olarak ifade edilmiştir. Böylece malzeme işleme hızının ve elektrot aşınmasının anında değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bilgisayar denetimli sistemden ve deneylerden elde edilen performans verileri karşılaştırılmış ve geliştirilen sistemin işleme performansını oldukça hassas bir şekilde belirlediği anlaşılmıştır.

Geliştirilen bilgisayar denetimli adaptif kontrol sistemi, kısa devrelerin, arkların, kısa ve uzun gecikme süreli vurumların oluşumlarının malzeme işlemedeki değişiklikleri hassas bir biçimde yansıttığını göstermiştir. Bu çalışma sonucunda vurumların oluşum sayısı ve önceden hesaplanan bu vurumlara ait malzeme aşındırma miktarları kullanılarak yaklaşık olarak gerçek zamanda EDM performans verileri elde edilmiştir.

COMPUTER AIDED EVALUATION AND COMPUTER CONTROL OF ELECTRIC DISCHARGE MACHINING (EDM)

An adaptive control system for Electric Discharge Machining (EDM) process is developed to evaluate and control workpiece removal rate and tool electrode wear during machining by using voltage and time characteristics of voltage pulse trains. Time-lag durations of discharges are measured and statistical occurrences of three types of pulses, namely short circuits, arcs and discharges are used to sense the machining conditions.

KAYNAKÇA

- 1 Bhattacharyya, S.K. ve El-Menshaw, M.F., Monitoring and Controlling the EDM Process, *ASME J. of Engg. for Industry*, 102 (1980), 189-194.
- 2 Bhattacharyya, S.K. ve El-Menshaw, M.F., Controlled Continuous (D.C.) EDM Process, *North Am. Manuf. Res. Conf. Proc.*, 324-328, 1980.
- 3 Bhattacharyya, S.K. ve El-Menshaw, M.F., Identification of the Discharge Profile in EDM, *Sixth North Am. Metal-working Res. Conf. Proc.*, 66-69, 1978.
- 4 Takase, K., Komeji, S. ve Uchishiba, I., Electric Discharge Machining With an Arcless Circuit, *Annals of CIRP*, 22 (1973), 1, 55-56.
- 5 Otto, M.S. ve Vasilev, Yu, V., Automatic Control of EDM Copier-Piercer Machines, *7th Int. Symp. on Electromachining (ISEM7)*, 98-103, 1983.
- 6 Çoğun, C. ve Erden, A., Effect of Pause Time on Pulse Trains in Electric Discharge Machining, *METU J. Pure and Applied Sciences*, 17 (1984), 3, 191-208.
- 7 Çoğun, C. ve Erden, A., Elektriksel Aşınma ile İşleme Vurum Zincirlerinin Özelliklerinin İstatistiksel Modellenmesi, *Doğa Bilim Dergisi, Seri B*, 9 (1985), 2, 149-161.
- 8 Çoğun, C. ve Erden, A., Correlation Between Pulse Train Characteristics and Machining Parameters in Electric Discharge Machining, *Int. Symp. on Measurement and Control (MECO 85)*, 114-119, İstanbul, 1985.
- 9 Koenig, W. ve Kurr, R., *Fundamentals and an Operative System of Adaptive Control in Electro-Discharge Machining*, Tech. Paper, Technical University-Aachen, 18 sayfa, 1973.
- 10 Enning, H.J., Einfluß der Schnellen Prozeßabhängigen Einstellung der Pausendauer auf das Arbeitsergebnis Beim Funkenerosiven Senken, *Industrie Anzeiger*, 21 (1978), 93, 36-37.
- 11 Koenig, W. ve Enning, H.J., Verschleißminderung Durch Adaptive Regelung Beim Funkenerosiven Senken, *Industrie Anzeiger*, 11 (1979), 55, 19-21.
- 12 Enning, H.J., Ein Beitrag Zur Reduzierung Des Elektroden Verschleisses Bei Der Funkenerosiven Senkbearbeitung, Doktora Tezi, Rheinisch Westfalischen Technischen Hochschule (RWTH)-Aachen, 1980.
- 13 Peuler, H., *Identifizierung Des Entladungprozesses Bei Der Funkenerosiven Senkbearbeitung und Auslegung Von Regelungs Einrichtungen*, Doktora Tezi, RWTH-Aachen, 1981.
- 14 Weck, M., Koenig, W. ve Peuler, H., Automatic Control and Supervision of the EDM-Process, *7th Int. Symp. on Electromachining (ISEM 7)*, 1-8, 1983.
- 15 Çoğun, C. ve Erden, A., Elektro-Erozyon ile İşleme (EDM) İçin Yüksek Hızlı Vurum Tanımlayıcı Tasarımı, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 1 (1986), 1, 38-42.
- 16 Çoğun, C., *Computer Aided Evaluation and Computer Control of Electric Discharge Machining (EDM) Process by Using Properties of Pulse Trains*, Doktora Tezi, ODTÜ, 1987.