



OTOMOTİV SEKTÖRÜ AYDINLATMA ÜRÜNLERİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA KULLANILAN DIN 1.2343 ÇELİĞİNİN DALMA EROZYON YÖNTEMİ İŞLEME PARAMETLERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERİNE ETKİSİNİN İNCELENEMESİ

Mert ÇELİK^{1*}, İbeyi KILAVUZ²

¹ Farba Otomotiv A.Ş., Tosb Otomotiv Osb, 2. Cd., 41420 TOSB-TAYSAD Organize Sanayi Bölgesi/Gebze/Kocaeli

ORCID No : <http://orcid.org/0009-0001-6817-8548>

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Kocaeli

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-2050-7533>

Anahtar Kelimeler

Öz

Dalma erozyon işlemi, plastik enjeksiyon kalıp çelikleri, taguchi, anova analizi, yüzey pürüzlülük değeri

Bu çalışmada otomotiv sektörü aydınlatma ürünleri plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan 181x131x37 mm boyutlarındaki DIN 1.2343(X37CrMoV5-1) sıcak iş takım çeliğinin dalma erozyon yöntemi ile işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerine olan etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma OSCARMAX S430S PNC (60A) marka dalma erozyon tezgahında ve COOLMATIC EDM PLUS erozyon sıvısı ile uygulanmıştır. Deneylerde Ø16 mm çap 25 mm boy ölçüsüne sahip elektrot (CuBe2, CuAl10Ni5Fe4, CuCrZr), akım (4 A, 8 A, 16 A), vuruş süresi (30 µs, 60 µs, 120 µs) ve vuruş bekleme süresi (45 µs, 90 µs, 180 µs) parametreleri kullanılmıştır. Bu 4 faktör ve 3 seviye için Minitab21 programı yardımıyla L27 ortogonal dizilim oluşturulmuş ve deneyler uygulanmıştır. Deneyler sonrasında yüzey pürüzlülük değeri Mitutoyo SJ-410 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu değerler doğrultusunda yine Minitab21 programı yardımıyla Taguchi(En Küçük En İyi) deney analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda optimum parametreler CuAl10Ni5Fe4 elektrot, 4 A akım değeri, 30 µs vuruş süresi ve 180 µs vuruş bekleme süresi olarak belirlenmiştir. Bu parametreler ile yapılan doğrulama deneyinde yüzey pürüzlülük değeri 2,16 µm elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen en küçük yüzey pürüzlülük değeri 2,16 µm olduğu için proses parametrelerinin optimum seçildiği görülmektedir. Deneysel çalışmanın son aşamasında Minitab21 programı yardımıyla yapılan ANOVA analizi ile yüzey pürüzlülük değeri için parametrelerin önem sırası sırasıyla vuruş süresi (%39,53), akım (%31,02), vuruş bekleme süresi (%10,21) ve elektrot tipi (%2,2) olduğu görülmüştür.

* mertt.celikk.29@gmail.com

doi : 10.46399/muhendismakina.1505414

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PLUNGE EROSION MACHINING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS VALUE OF DIN 1.2343 STEEL USED IN PLASTIC INJECTION MOLDS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY LIGHTING PRODUCTS

Keywords

Plunge erosion, plastic injection mold steels, taguchi, anova analysis, surface roughness value

Abstract

In this study, the effect of machining parameters on the surface roughness value of DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1) hot work tool steel with dimensions of 181x131x37 mm used in plastic injection molds of automotive sector lighting products by plunge erosion method was investigated. The experimental work was carried out on an OSCARMAX S430S PNC (60A) plunge erosion machine with COOLMATIC EDM PLUS erosion fluid. Electrode (CuBe2, CuAl10Ni5Fe4, CuCrZr) with Ø16 mm diameter and 25 mm length, current (4 A, 8 A, 16 A), on time (30 µs, 60 µs, 120 µs) and off time (45 µs, 90 µs, 180 µs) parameters are used in the experiments. With the help of Minitab21 program, L27 orthogonal array was created and experiments were applied. After the experiments, the surface roughness value was measured with Mitutoyo SJ-410 surface roughness measuring device. In line with these values, Taguchi (Least Best) experiment analysis was performed with the help of Minitab21 program. As a result of the analysis, the optimum parameters were determined as CuAl10Ni5Fe4 electrode, 4 A current value, 30 µs on time and 180 µs off time. In the verification experiment performed with these parameters, a surface roughness value of 2.16 µm was obtained. As the smallest surface roughness value obtained as a result of the experiments was 2.16 µm, it is seen that the process parameters were selected optimally. In the last stage of the experimental study, ANOVA analysis performed with the help of Minitab21 program showed that the importance of the parameters for the surface roughness value were on time (39.53%), current (31.02%), off time (10.21%) and electrode type (2.2%), respectively.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 26.06.2024

Kabul Tarihi : 02.10.2024

Research Article

Submission Date : 26.06.2024

Accepted Date : 02.10.2024

Extended Abstract

Introduction

Polymeric materials are used in automobiles due to the main demands of the automotive industry, such as low-cost manufacturing, lower vehicle fuel consumption, customer-acceptable styling and weight reduction. This demand for polymeric materials has led both automobile manufacturers and auto parts suppliers to specialize in the plastic injection molding process. The surface of the plastic injection mold directly affects the quality of the plastic product. Especially even the slightest scratch on the mirror surface molds of visual parts such as car headlights can be easily noticed in the product. Molds, which are critical for product quality, are machined on highly sensitive machines. In this manufacturing process, methods such as milling, turning, plunge erosion, wire erosion and grinding are frequently used. In cases where traditional machining methods are insufficient in the mold manufacturing process, the plunge erosion method, one of the electro erosion machining methods, is used. Plastic injection molds operate under challenging conditions (such as high pressure, high temperature, corrosion risks due to the process conditions. Along with these challenging conditions, the constantly developing plastic injection industry demands plastic injection mold steels with high efficiency and quality. For this reason, there is a need to produce mold steels with superior properties. In order to meet this expectation, properties such as yield strength, toughness, tensile strength, abrasion resistance, corrosion resistance, thermal conductivity, thermal expansion, machinability, polishability, patternability, weldability, heat treatability, coating and cost should be examined. Pre-hardened steels, case hardening steels, core hardening steels, corrosion resistant steels and nitriding steels are frequently used in plastic injection molds. Steels that harden to the core are often preferred for cavity steels, core steels, pressure plates and ejector pins. DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1), also known as H11, is a core hardening hot work tool steel. As hot work tool steels, it is frequently preferred in automotive industry lighting product plastic injection molds due to its ability to maintain its mechanical properties and abrasion resistance at high temperature, high thermal conductivity, machinability, coating and polishability. DIN 1.2343 steel is produced by the ESR method called ESR under slag spinning.

Objectives

In this study, the effect of processing parameters on the surface roughness value of DIN 1.2343 steel used in plastic injection molds of automotive lighting products by plunge erosion method was investigated. As a result of the research, the surface roughness value of DIN 1.2343 steel after erosion was optimized by analyzing the process parameters. With this optimization, both time and cost savings were achieved in plastic injection mold manufacturing.

Methods

The experimental works are carried out with OSCARMAX S430S PNC (60A) plunge erosion machine. COOLMATIC EDM PLUS erosion fluid is used for the plunge erosi-

on process. DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1) hot work tool steel used in plastic injection mold cores and cavity with dimensions of 181x131x37 mm is used as the workpiece in plunge erosion machining experiments. The steel was first subjected to CNC milling and then precision grinding. Electrode (CuBe2, CuAl10Ni5Fe4, CuCrZr), current (4 A, 8 A, 16 A), on time (30 μ s, 60 μ s, 120 μ s) and off time (45 μ s, 90 μ s, 180 μ s) parameters were used in the experiments. The L27 orthogonal array, which is determined with a total of 4 factors and 3 levels for each factor, is created with the Minitab21 program. Mitutoyo SJ-410 model surface roughness measuring device is used for workpiece surface roughness measurement after plunge erosion process.

Results

As a result of the experiments, the lowest Ra value of 4.199 μ m is obtained with CuAl10Ni5Fe4 electrode, 4 A current value, 30 μ s on time and 90 μ s off time. Based on the experimental results, L27 orthogonal array is analyzed with Minitab21 program and Signal/Noise ratios are calculated. In Taguchi Experiment Analysis methods, "Least Best" option is selected for Ra value. According to the results obtained, it is seen that the most important factors for the surface roughness value are on time, current, off time and electrode type, respectively. Based on ANOVA analysis, the percentage effects of the parameters on surface roughness are 39.53% for on time, 31.02% for current, 10.21% for off time and 2.2% for electrode type.

According to these results, the most optimum parameters for surface roughness value are CuAl10Ni5Fe4 electrode, 4 A current value, 30 μ s on time and 180 μ s off time. As a result of the verification experiment, a surface roughness value of 2.16 μ m is obtained with the optimum parameters of CuAl10Ni5Fe4 electrode, 4 A current value, 30 μ s on time and 180 μ s off time.

Discussion and Conclusions

As seen in the experimental studies, the on time is the most important parameter affecting the surface roughness after the plunge erosion process. The increase in the on time increases the surface roughness value. For lower surface roughness values, the on time can be decreased; however, this will lead to an extension of the plunge erosion process time and longer exposure of the workpiece to heat. Another critical value for the surface roughness value is the current value. At higher currents, the plunge erosion process will take a shorter time, but with this increase, the surface roughness value and electrode wear rate will also increase. It is seen that the off time and electrode type do not have as much effect on the surface roughness of the workpiece as the on time and current as a result of the plunge erosion process. Although the off time and electrode type are less effective than the other parameters for the surface roughness value, these two parameters are critical for the plunge erosion process due to their effects on the duration of the plunge erosion process, the cleaning of the dielectric fluid, the material removal rate and the electrode wear rate.

1. Giriş

Polimer malzemeler, otomotiv sektörünün düşük maliyet ile imalat, araç yakıt tüketimini düşürme, müşteri tarafından kabul gören bir stil oluşturma ve ağırlık azaltma gibi başlıca talepleri sebebiyle otomobillerde kullanılmaktadır. Polimer malzemelere olan bu talep hem otomobil üreticilerinin hem de otomobil parçası üreten tedarikçilerinin plastik enjeksiyon prosesinde uzmanlaşmasına yol açmıştır. Plastik enjeksiyon kalıbının yüzeyi, plastik ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle otomobil farı gibi görsel parçaların ayna yüzey kalıplarındaki en ufak bir çizik üründe kolayca fark edilebilmektedir. Ürün kalitesi için kritik öneme sahip olan kalıplar, oldukça hassas tezgahlarda işlenmektedir. Bu imalat sürecinde sıklıkla frezeleme, tornalama, dalma erozyon, tel erozyon ve taşlama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kalıp imalat sürecinde geleneksel işleme yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda elektro erozyon işleme yöntemlerinden biri olan dalma erozyon yöntemi kullanılmaktadır.

Rachman, Purnomo, Fajardini ve Umami (2019) çalışmalarında plastik enjeksiyon kalıplarında sıklıkla tercih edilen DIN 1.2738 cinsi çeliğin Ariztech ZNC LS 550 dalma erozyon tezgahı ile işlenmesinde elektrot tipi, vuruş süresi, vuruş bekleme süresi ve gerilim parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Elektrot malzemesi olarak bakır ve grafit elektrot malzemesi tercih edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü ise Surfest Mitutoyo SJ-310 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma için 4 adet faktör için 3 adet seviye belirlenerek L18 ortogonal dizisine dayalı deney tasarımı Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda en önemli faktörün vuruş süresi olduğu görülmüştür. Araştırma sonucunda optimum yüzey pürüzlülük değeri grafit elektrot, 40 V gerilim, 250 μ s vuruş süresi ve 20 μ s vuruş bekleme süresi ile elde edilmiştir.

Nas, Argun ve Zurnacı (2018) çalışmalarında yine plastik enjeksiyon kalıplarında sıklıkla tercih edilen DIN 1.2738 cinsi çeliğin King ZNC K-3200 dalma erozyon tezgahı ve grafit elektrot ile işlenmesinde vuruş süresi (100, 200 ve 300 μ s), vuruş bekleme süresi (10, 20 ve 30 μ s) ve boşalım akımı (10, 20 ve 30 A) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Araştırmada Taguchi yöntemi veya yapay sinir ağları gibi deneysel yöntemler tercih edilmediğinden 27 adet deney yapılmıştır. 27 adet deneyin sonucunda; en düşük yüzey pürüzlülük değeri 100 μ s vuruş süresi, 10 μ s vuruş bekleme süresi ve 20 A akımda 4,35 μ m olarak ölçülmüştür.

Malo (2023) çalışmasında plastik enjeksiyon kalıplarının sabit ve hareketli çekirdeklerinde kullanılan DIN 1.2344 cinsi çeliğin ZNC Best-3000S dalma erozyon tezgahı ve bakır elektrot ile işlenmesinde görev çevrimi (0.3-0.6 η), boşalım akımı (4,8 ve 12 A) ve vuruş süresi (300-500-700 μ s) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, elektrot aşınma oranı ve talaş kaldırma oranları araştırılmıştır. Yüzey

pürüzlülük değeri için Mitutoyo SJ-310S, elektrot aşınma oranı için hassas terazi kullanılmıştır. Çalışma için 3 adet faktör için toplamda 8 adet seviye belirlenerek L18 ortogonal dizisine dayalı deney tasarımı Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda yüzey pürüzlülüğü, elektrot aşınma oranı ve talaş kaldırma oranı için en önemli faktörün boşalım akım değeri olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü için en ideal seviyeler, görev çevriminin 1. seviyesi olan 0.3 η , boşalım akımının 1. seviyesi olan 4 A ve vuruş süresinin 3. seviyesi olan 700 μ s; talaş kaldırma oranı için en ideal seviyeler, görev çevriminin 2. seviyesi olan 0.6 η , boşalım akım değeri 3. seviyesi olan 12 A ve vuruş süresinin 1. seviyesi olan 300 μ s olarak; elektrot aşınma oranı için en ideal seviyeler, görev çevriminin 1. seviyesi olan 0.3 η , boşalım akımının 1. seviyesi olan 4 A ve vuruş süresinin 3. seviyesi olan 700 μ s olarak bulunmuştur.

Erman (2021), çalışmasında plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan MIRRAX cinsi çeliğin FURKAN EDM M25 A dalma erozyon tezgahı ile işlenmesinde elektrot (CuCoNiBe, CuNi2SiCr ve CuCrZr), boşalım akımı (6,12 ve 25 A), vuruş süresi (50,100 ve 200 μ s) ve vuruş bekleme süresi (200, 400 ve 800 μ s) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, elektrot aşınma oranı ve iş parçası işleme hızı araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri için Mitutoyo SJ-210, elektrot aşınma oranı için hassas terazi kullanılmıştır. Çalışma için 4 adet faktör için toplamda 12 adet seviye belirlenerek L27 ortogonal dizisine dayalı deney tasarımı Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda yüzey pürüzlülüğü, elektrot aşınma oranı ve iş parçası işleme hızı için en önemli faktörün boşalım akımının olduğu görülmüştür. En yüksek iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma oranı ve yüzey pürüzlülük değerleri CuNi2SiCr elektrot kullanılarak, 25 A boşalım akımı, 200 μ s vuruş süresi ve 400 μ s vuruş bekleme süresi değerlerinde görülmüştür. En düşük iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma oranı ve yüzey pürüzlülük CuCrZr elektrotun kullanıldığı, 6 A boşalım akımı, 50 μ s vuruş süresi ve 200 μ s vuruş bekleme süresi değerinde görülmüştür.

Plastik enjeksiyon kalıpları yüksek ısı iletkenliği gerektiren (çelik malzemelerin karşılamayacağı durumlar) ve hareketli parçaların yağlanamadığı (medikal ürünler, otomotivde görsel ürünler gibi) durumlar haricinde çelik malzemeden imal edilir. Ayrıca prototip kalıplarında maliyet göz önünde bulundurularak alüminyum malzeme seçilebilir (Catoen ve Rees, 2022). Plastik enjeksiyon kalıplarında sıklıkla ön sertleştirilmiş çelikler, yüzeysel sertleşen çelikler, çekirdeğine kadar sertleşen çelikler, korozyona dayanıklı çelikler ve nitrasyon çelikleri kullanılmaktadır. Çekirdeğine kadar sertleşen çelikler, içerisinde bulunan alaşımlar nedeniyle 46-62 HRC sertliğine kadar sertleşebilir. Bu sertlik düzeyi östenit fazı sonrası ani soğutma sonucu oluşan martenzit fazıyla elde edilir. Bu tür çeliklere DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1), DIN 1.2767 (45NiCrMo16), DIN 1.2842 (90MnCrV8)), ve DIN 1.2379 (X153CrMoV12) çeliği örnek verilebilir (Mennig ve

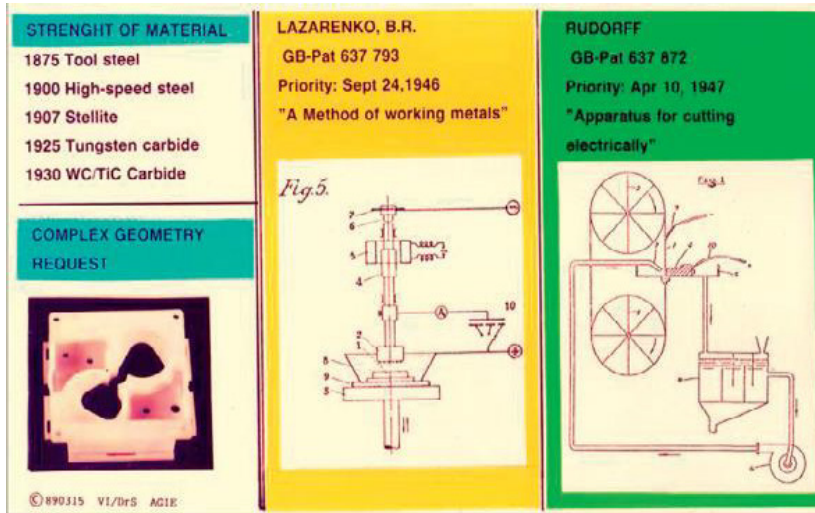
Stoekherth, 2013). Bu tür çelikler sabit-hareketli çeliklerde, baskı plakalarında ve itici pimlerde sıklıkla tercih edilir. DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1) bir diğer adıyla H11 çekirdeğine kadar sertleşen sıcak iş takım çeliğidir. Sıcak iş takım çelikleri olarak yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini ve aşınma dayanımlarını koruyabilmeleri, ısı iletkenliğinin yüksekliği, işlenebilirlik, kaplanabilirlik ve parlatılma kabiliyetlerinin yeterli olması sebebiyle otomotiv sektörü aydınlatma ürün plastik enjeksiyon kalıplarında sıklıkla tercih edilir. 1.2343 çeliği ESR denilen cüruf altı eğritme metodu ile üretilmektedir.

Tablo 1. DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1) Çeliği Kimyasal İçeriği (Koçak,2019)

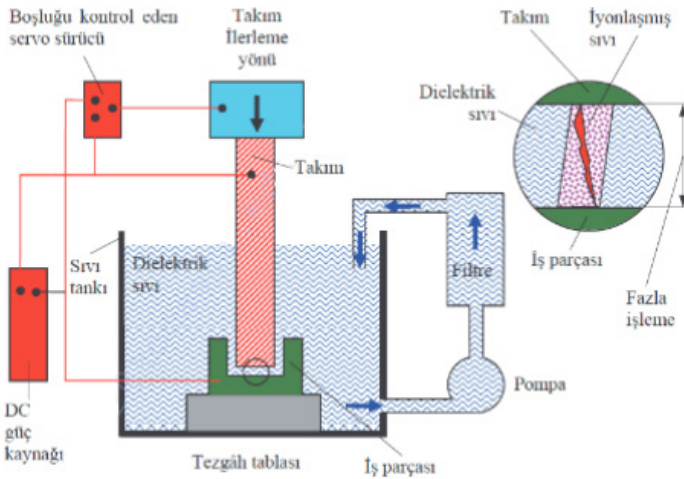
Karbon [C]	Silisyum [Si]	Mangan [Mn]	Fosfor [P]	Kükürt [S]	Krom [Cr]	Molibden [Mo]	Vanad- yum [V]
0,33- 0,41	0,8,-1,2	0,25- 0,5	max 0,03	max 0,02	4,8- 5,5	1,1-1,5	0,3-0,5

Elektro erozyon ile işleme yönteminin kökeni İngiliz bilim insanı Joseph Priestly'in elektrik akımının aşındırıcı etkisini keşfettiği 1770 yılına kadar dayanmaktadır. Fakat bu uygulama sadece deneysel olarak kalmıştır. 2. Dünya Savaşı sırasında Moskova Üniversitesinde çalışan Rus fizikçi çift Boris Lazarenko ve Natalya Lazarenko, elektrik güç kontaklarındaki aşınmayı en aza indirmek ve değerli malzemelerin yerini alacak alternatifler için çalışmalarını sürdürürken; elektrik güç kontaklarındaki aşınma etkisini terse çevirerek, işleme tezini ortaya çıkarmıştır. Bu fikrin pratik uygulaması için Lazarenko çifti hemen bir aparat geliştirdi ve patentini aldı. Sovyetler Birliği'nin "Paris Patent Sözleşmesi'ne üye olmaması nedeniyle patent, batılı ülkelerde savaştan sonra korunamadı. Fakat İngiltere, Paris Patent Sözleşmesi'nin dışında kaldığı için İngiltere'de patent alındı. Şekil 1'de (sağ tarafta), Dagobert W. Rudorff tarafından icat edilen bir işleme aparatı gösterilmektedir. Bu patent, iş parçasının elektro erozyon ile kesilmesi için tel elektrotların kullanıldığı ilk telifdir (Schumachera, Karmpitzb ve Kurthc, 2013).

Dalma erozyonla işlemede, kapasitörde depolanan elektrik yükü takım (Katot) ve iş parçası (Anot) arasındaki küçük boşlukta deşarj edilerek oluşan kıvılcımla talaş kaldırılır. Bu boşlukta saniyede binlerce kıvılcım oluşur ve bu kıvılcımların her biri boşluktan atlarken iş parçasından ve elektrottan çok küçük bir parçacığı ergitip buharlaştırarak parça üzerinde çok küçük krater oluşturur ve takım şekli (iş parçasının negatifi) iş parçasına işlenmiş olur. Dalma erozyon ile işlemede her bir kıvılcım belirli miktarda kontrol edilebilen enerjiye sahiptir. Bu sebeple; talaş kaldırma oranı ve yüzey kalitesi de kontrol edilebilir (Aydın, Gavas, Yaşar ve Altunpak, 2022).



Şekil 1. Lazarenko Çifti ve W. Rudorff'un Patenti (Schumachera ve diğ, 2013)



Şekil 2. Elektro Erozyon İşleminin Şematik Gösterimi (Aydın M. ve diğ, 2022)

Elektrot yapımı için bakır, pirinç ve bakır-tungsten gibi malzemeler kullanılmasına rağmen; karbonun siyah ve yumuşak bir şekli olan grafit; erozyon anında gösterdiği aşınma direnci, elektrik iletkenliği ve ucuz olması sebebiyle en çok tercih edilen elektrot malzemesidir (Aydın M. ve diğ, 2022). Dielektrik sıvı, dalma erozyon prosesinde takım ve iş parçası arasındaki yalıtımı sağlamak, temizleyici olarak davranmak, takım-iş parçası arasında kopan parçacıkları uzaklaştırmak ve soğutma ortamı sağlamak gibi görevleri görmektedir. En yaygın dielektrik sıvısı

mineral yağlardır, ancak gazyağı ve damıtılmış deiyonize su da özel uygulamalarda kullanılmaktadır. (Kalpakjian ve Schmid, 2022). İşleme aralığında (elektrot ile iş parçasının arasında akımın başladığı mesafe) gerilimin ilk uygulanma anı ile boşalmanın bitiş anı arasındaki toplam süreye vuruş süresi denmektedir, μs cinsinden ifade edilmektedir (Dursun, 2007). Dalma erozyon işlemi boyunca yapılan tüm malzeme kaldırma işlemi vuruş boyunca gerçekleştiği için vuruş süresi parametresi kritik öneme sahiptir. Talaş kaldırma, vuruş süresi boyunca uygulanan enerji ile doğru orantılıdır (Singh ve Bhardwaj, 2011). Art arda oluşan iki boşalmanın arasında kalan süre de vuruş bekleme süresidir. Bu sürede mikro saniye cinsinde belirtilir. Boşalım süresince işleme aralığından geçen akıma boşalım akımı denir, bu parametre Amper cinsinden belirtilmektedir (Erman, 2021). Kaba işleme ve geniş yüzey alanlarına sahip boşluklarda veya detaylarda, ince ve hassas yüzeylere göre daha yüksek amper kullanılır. Daha yüksek akımlar malzeme kaldırma hızını iyileştirir, ancak yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma hızını ciddi derece artırır (Ho ve Newman, 2003). Elektrot boşluğu dalma erozyon işlemi esnasında vuruş ve vuruş bekleme süresi boyunca iş parçası ile elektrot arasındaki mesafedir. Dalma erozyon tezgahlarında bulunan servo mekanizma; çalışma boşluğunu ayarlanan değere duyarlı bir şekilde kontrol etmektedir. Çoğunlukla elektro-mekanik (DC veya step motorlar) ve elektrohidrolik sistemler kullanılır (Crookall ve Heuvelman, 1971) (Bayramoğlu ve Duffill, 1995).

1950'lerde geliştirilen istatistiksel bir yaklaşım olan Taguchi yöntemi, en uygun tasarım değişkenlerini belirlemek için sistematik ve etkili bir yaklaşımdır. Taguchi yöntemi; az sayıda deney ile tüm deneysel bölgenin incelenmesi için ortogonal dizilerden elde edilen kesirli tasarımları kullanmaktadır. Bu yöntem, deneylerin zaman ve maliyetlerini düşürmenin yanında, gerçekleştirilecek bazı ek işlemlerle en uygun koşulların belirlenmesini de sağlar. Ayrıca, Taguchi yönteminden çıkarılan sonuçlar, deneysel bölgenin tamamında geçerlidir. Taguchi yönteminde, bilinen deney tasarımlarından farklı olarak hem ortalama hem de değişkenlik eş zamanlı modellenmektedir (Ünverdi ve Küçük, 2019).

S/N, ortalamasının standart sapmaya oranıdır. S/N üç kategoride incelenebilir: Denklem 1'de daha küçük daha iyi formülasyonu gösterilmektedir (Kaya, 2022).

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_i^n y^2 \right) \quad (1)$$

Denklem 2'de daha büyük daha iyi formülasyonu gösterilmektedir (Kaya, 2022).

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_i^n \frac{1}{y^2} \right) \quad (2)$$

Denklem 3'te nominal değer en iyi olduğu formülasyonu gösterilmektedir (Kaya, 2022).

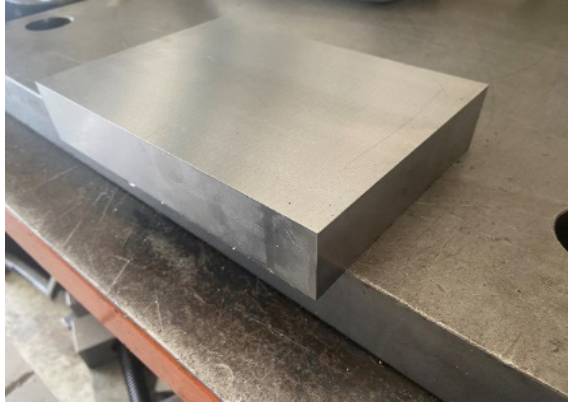
$$S/N = 10 \log \frac{y}{s^2} \quad (3)$$

ANOVA olarak da bilinen varyans analizi, bir veya daha fazla bağımsız değişkenin (gruplar veya muameleler) bağımlı değişken (ortalama) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlemlenip gözlemlenmediğini belirlemektir. ANOVA Sir Ronald A. Fisher tarafından geliştirilmiştir (Adam, Jeffrey, Steven ve Brett, 2023).

Bu çalışmada, makalenin literatür kısmında bulunan diğer kalıp çeliklerinden farklı olarak, otomotiv sektörü aydınlatma ürünlerinin (far lens, arka lamba lens vb.) plastik enjeksiyon kalıplarında, ayna yüzeye kadar kolayca parlatılabilme ve zorlayıcı çalışma koşullarında (100-120°C kalıp sıcaklığı, 290- 320°C hammadde sıcaklığı, aşındırıcı hammadde(PC) vb.) sağladığı üstün mukavemet özellikleri sebebiyle kullanılan DIN 1.2343(X37CrMoV5-1) sıcak iş takım çeliğinin dalma erozyon yöntemi ile işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerine olan etkisi Taguchi deneysel analiz yöntemi kullanılarak araştırılması amaçlanmıştır.

2.Yöntem

Dalma erozyon ile işleme deneylerinde iş parçası olarak 181x131x37 mm boyutlarında plastik enjeksiyon kalıp çekirdeklerinde kullanılan DIN 1.2343(X37CrMoV5-1) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Testere yardımıyla kesilen iş parçası CNC freze yardımıyla istenilen ölçülere yakın ölçülere getirildikten sonra, taşlama yöntemiyle hassas ölçülere getirilmiştir.



Şekil 3. İstenilen Ölçülere Getirilmiş Dalma Erozyona Hazır DIN 1.2343 İş Parçası

Deney çalışmaları OSCARMAX S430S PNC (60A) marka dalma erozyon tezgahı ile uygulanmıştır. Şekil 4'te deneylerde kullanılan OSCARMAX S430S PNC dalma erozyon tezgahı, Tablo 2'de OSCARMAX S430S PNC tezgahına ait teknik bilgiler gösterilmiştir.



Şekil 4. OSCARMAX S430S PNC Dalma Erozyon Tezgağı

Tablo 2. OSCARMAX S430S PNC 60A Dalma Erozyon Tezgağı Teknik Özellikleri

TANIM	ÖZELLİK	BİRİM
Tank Ölçüleri (LxExH)	990 x 565 x 380	mm
Tabla Ölçüleri (LxE)	650 x 350	mm
Tabla Hareketi(X)	400	mm
Tabla Hareketi(Y)	300	mm
Servo Hareketi(Z)	180	mm
Servo Hareketi(Z2)	250	mm
Maksimum Elektrot Ağırlığı	120	kg
Maksimum İş Parçası Ağırlığı	550	kg
Tezgağ Ölçüleri	3100x2500x2350	mm
Tezgağ Ağırlığı	1200	kg
GÜÇ ÜNİTESİ		
Maksimum Güç	4,5	kVA
Maksimum İşleme Hızı	430	mm ³ /min
Minimum Elektrot Aşındırma Oranı	0,1	%
DİELEKTRİK SIVI		
Dielektrik sıvı kapasitesi	357	l

Dalma erozyon ile işleme deneylerinde farklı çaplardaki elektrotlar işlenerek $\varnothing 16\text{mm}$ çap, 25 mm boy ölçüsüne getirilmiştir. Deneylerde CuBe₂ (Cupro B2), CuAl₁₀Ni₅Fe₄ (Cupral 4M) ve CuCrZr (CuproMax) cinsi elektrot malzemeler kullanılmıştır. Elektrotlara ait görseller Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. CuBe₂, CuAl₁₀Ni₅Fe₄ ve CuCrZr Cinsi $\varnothing 16\text{mm}$ Çapında, 25 mm Boyunda Elektrotlar

Tablo 3. CuBe₂, CuAl₁₀Ni₅Fe₄ ve CuCrZr Cinsi Elektrotların Teknik Özellikleri (Koçak H, 2019)

Özellik	Elektrot			
	Malzemesi	CuBe ₂	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	CuCrZr
Elektrik İletkenliği (MS/m)		15	5	45
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)		1100-1300	650-800	400-500
Akma Mukavemeti (N/mm ²)		900-110	270-400	320-410
Sertlik (HB)		340-390	170-220	135-170
Isıl Genleşme Katsayısı (273-573 K)(10 ⁻⁶ /K)		17,5	16	17
Isıl İletkenlik (20°C)(W/m.K)		106	42	320
Yoğunluk (g/cm ³)		8,3	7,45	8,9

Dalma erozyon işlemi için Türekim firmasından temin edilen COOLMATIC EDM PLUS erozyon sıvısı kullanılmıştır. COOLMATIC EDM PLUS yüksek alevlenme noktasına sahip, düşük viskoziteli, oksidasyona dayanıklı, üstün vasıflı kokusuz bir yağdır. Kolaylıkla filtre edilebilen ve yüksek korozyon korumasına sahip olan COOLMATIC EDM PLUS elektro erozyon tezgahları için özel olarak geliştirilen bir dielektrik sıvıdır.

Tablo 4. COOLMATIC EDM PLUS Sıvısına Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler (URL-1, 10.06.2024)

ANALİZLER	TEST METHODU	DEĞERLER
Görünüş	Görsel	Berrak Sıvı
Koku		Karakteristik
Viskozite 40°C, cst	ASTM D445	2-2,7
Parlama Noktası °C	ASTM D92	95
Yoğunluk (15°C), kg/lt	ASTM D1298	0,765-0,785
Akma Noktası °C	ASTM D97	-3

DIN 1.2343 plastik enjeksiyon kalıp çeliğinin dalma erozyon deneyleri için elektrot tipi, akım, vuruş süresi ve vuruş bekleme süresi olmak üzere 4 adet faktör belirlenmiştir. Belirlenen 4 adet faktör için belirlenen seviyeler Tablo 5'te detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 5. Deneylere Ait Faktör ve Seviyeler

Sembol	Parametre	Birim	Seviye-1	Seviye-2	Seviye-3
E	Elektrot Tipi		CuBe ₂	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	CuCrZr
A	Akım	Amper	4	8	16
TON	Vuruş Süresi	µs	30	60	120
TOF	Vuruş Bekleme Süresi	µs	45	90	180

3. Sonuç

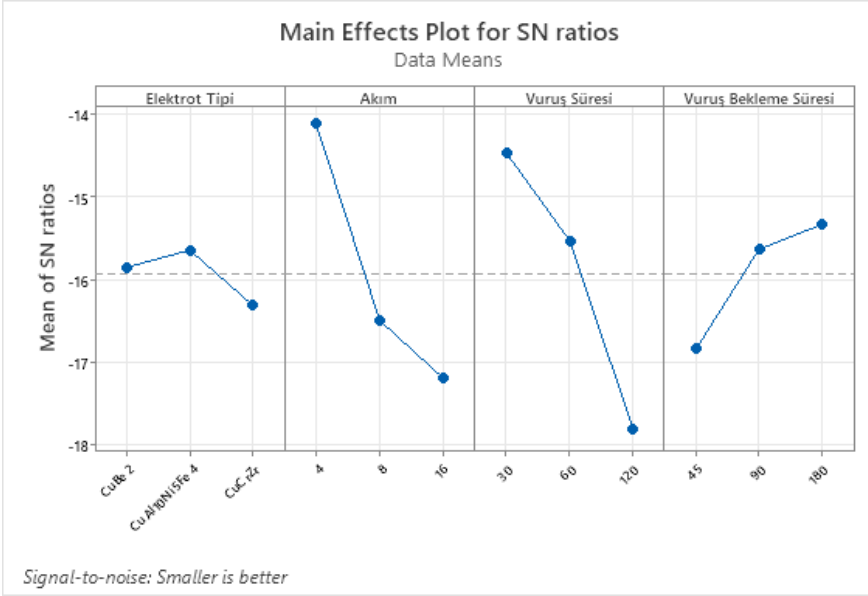
Toplamda 4 adet faktör ve her bir faktör için 3 adet seviye ile belirlenen L27 ortogonal dizilimi Minitab21 programı ile oluşturulmuştur. L27 ortogonal dizilimi Tablo 6'da gösterilmektedir. Dalma erozyon işlemi sonrası iş parçası yüzey

pürüzlülük ölçümü için Mitutoyo SJ-410 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Tablo 6. 1.2343 Çeliği Dalma Erozyon Deneyleri Sonrası Elde Edilen Sonuçlar

No	Elektrot Tipi	Akım	Vuruş Süresi	Vuruş Bekleme Süresi	Ra
1	CuBe ₂	4 A	30 µs	45 µs	4,254 µm
2	CuBe ₂	4 A	60 µs	90 µs	4,973 µm
3	CuBe ₂	4 A	120 µs	180 µs	5,901 µm
4	CuBe ₂	8 A	30 µs	90 µs	5,021 µm
5	CuBe ₂	8 A	60 µs	180 µs	6,551 µm
6	CuBe ₂	8 A	120 µs	45 µs	8,257 µm
7	CuBe ₂	16 A	30 µs	180 µs	5,707 µm
8	CuBe ₂	16 A	60 µs	45 µs	7,972 µm
9	CuBe ₂	16 A	120 µs	90 µs	8,806 µm
10	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	4 A	30 µs	90 µs	4,199 µm
11	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	4 A	60 µs	180 µs	4,430 µm
12	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	4 A	120 µs	45 µs	6,992 µm
13	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	8 A	30 µs	180 µs	5,460 µm
14	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	8 A	60 µs	45 µs	6,656 µm
15	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	8 A	120 µs	90 µs	8,575 µm
16	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	16 A	30 µs	45 µs	7,380 µm
17	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	16 A	60 µs	90 µs	5,595 µm
18	CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	16 A	120 µs	180 µs	6,521 µm
19	CuCrZr	4 A	30 µs	180 µs	4,232 µm
20	CuCrZr	4 A	60 µs	45 µs	5,429 µm
21	CuCrZr	4 A	120 µs	90 µs	6,050 µm
22	CuCrZr	8 A	30 µs	45 µs	5,922 µm
23	CuCrZr	8 A	60 µs	90 µs	6,396 µm
24	CuCrZr	8 A	120 µs	180 µs	8,222 µm
25	CuCrZr	16 A	30 µs	90 µs	6,302 µm
26	CuCrZr	16 A	60 µs	180 µs	6,545 µm
27	CuCrZr	16	120	45	12,193 µm

Deneyler sonucunda en düşük Ra değeri 4,199 μm olarak 10 numaralı deney CuAl10Ni5Fe4 elektrot, 4 A akım değeri, 30 μs vuruş süresi ve 90 μs vuruş bekleme süresi ile elde edilmiştir. Deney sonuçlarına istinaden L27 ortogonal dizilimi Minitab21 programı ile analiz edilip S/N oranları hesaplanmıştır. Taguchi Deney Analiz yöntemlerinde Ra değeri için “En Küçük En İyi” seçeneği seçilmiştir. Minitab21 programı Taguchi analizleri sonucunda yüzey pürüzlülük değeri için elde edilen S/N oranı grafiği Şekil 6’da ve rank değerlerini belirten çıktılar Şekil 7’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülük değeri için en önemli faktörlerin sırasıyla vuruş süresi, akım, vuruş bekleme süresi ve elektrot tipi olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Yüzey Pürüzlülük Değeri için S/N Oranı

Smaller is better

Level	Elektrot		Vuruş Bekleme	
	Tipi	Akım	Vuruş Süresi	Süresi
1	-15,85	-14,12	-14,47	-16,84
2	-15,64	-16,49	-15,53	-15,63
3	-16,31	-17,19	-17,79	-15,33
Delta	0,67	3,07	3,32	1,51
Rank	4	2	1	3

Şekil 7. Çıktılar

Doğrulama deneyi sonucunda CuAl10Ni5Fe4 elektrot, 4 A akım değeri, 30 μ s vuruş süresi ve 180 μ s vuruş bekleme süresi optimum parametreleri ile 2,16 μ m yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir.

ANOVA analizine istinaden yüzey pürüzlülük değerine işlem parametrelerinin yüzdesel etkileri; vuruş süresi için %39,53, akım için %31,02, vuruş bekleme süresi için %10,21 ve elektrot tipi için ise %2,2'dir.

Neden sonuç ilişkisinin olduğu tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde regresyon modeli kullanılmaktadır (Nas ve diğ., 2018). Yapılan deneysel çalışmalar ve analizler sonucunda birinci derece lineer regresyon modelleri, yüzey pürüzlülük değeri için Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. 1.2343 Çeliği Dalma Erozyon Deneyleri Sonrası Elde Edilen Sonuçlar

Elektrot Tipi	
CuBe ₂	Ra=3,622+ 0,1750 Akım+ 0,02887 Vuruş Süresi- 0,00852 Vuruş Bekleme Süresi
CuAl ₁₀ Ni ₅ Fe ₄	Ra=3,441+ 0,1750 Akım+ 0,02887 Vuruş Süresi- 0,00852 Vuruş Bekleme Süresi
CuCrZr	Ra=4,050+ 0,1750 Akım+ 0,02887 Vuruş Süresi- 0,00852 Vuruş Bekleme Süresi

4.Tartışma

Bu sonuçlara göre yüzey pürüzlülük değeri için en optimum parametreler; Cu-Al10Ni5Fe4 elektrot, 4 A akım değeri, 30 μ s vuruş süresi ve 180 μ s vuruş bekleme süresi parametrelerdir. Deneysel çalışmalarda görüldüğü üzere vuruş süresi dalma erozyon prosesi sonrası yüzey pürüzlülüğü etkileyen en önemli parametredir. Vuruş süresinin dalma erozyon işlemini etkileyen en önemli parametre olması sonucu, çelik tipleri farklı olsa dahi Rachman, Purnomo, Fajardini ve Umami (2019) DIN 1.2738 cinsi çeliğe uygulanan deneysel çalışma ile benzer fakat Malo (2023) yine sıcak iş takım çeliği olan DIN 1.2344 çeliğine uygulanan deneyin aksine çıkmıştır. Malo (2023) çalışmasında akım değeri dalma erozyon işlemi için en önemli parametre çıkmıştır. Buradan anlaşılmaktadır ki vuruş süresi ve akım değeri dalma erozyon için yaklaşık olarak aynı öneme sahip iki kritik parametredir. Vuruş süresindeki artış yüzey pürüzlülük değerini artırmıştır. Daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri için vuruş süresi düşürülebilir; fakat bu da dalma erozyon işlem süresinin uzamasına ve iş parçasının daha uzun süre ısıya maruz kalmasına sebep olacaktır. Yüzey pürüzlülük değeri için kritik bir diğer değer ise akım değeridir. Daha yüksek akımlarda dalma erozyon prosesi daha kısa süre-

cektir fakat; bu artışla beraber yüzey pürüzlülük değeri ve elektrot aşınma hızı da artacaktır. Vuruş bekleme süresi ve elektrot tipinin dalma erozyon işlemi sonucu iş parçasında oluşturduğu yüzey pürüzlülüğüne vuruş süresi ve akım kadar etkisin olmadığı görülmüştür. Rachman, Purnomo, Fajardini ve Umami (2019) DIN 1.2738 cinsi çeliğine, Malo (2023) DIN 1.2344 çeliğine ve Erman (2021) MIRRAX çeliğine uyguladığı deneysel çalışma sonuçlarına paralel olarak vuruş bekleme süresi ve elektrot tipi yüzey pürüzlülük değeri için diğer parametrelere göre daha az etkili olmuştur. Vuruş bekleme süresi ve elektrot tipi yüzey pürüzlülük değeri için diğer parametrelere göre daha az etkili olsa da bu iki parametre dalma erozyon işleminin süresine, dielektrik sıvının temizlenmesine, malzeme kaldırma hızına ve elektrot aşınma oranına etkileri sebebiyle dalma erozyon işlemi için kritik öneme sahiptir. CuAl10Ni5Fe4 elektrotun diğer elektrotlara göre daha düşük elektrik iletkenlik özelliği bu sonuca sebep olmuştur. Taguchi yöntemi ile 81 adet deney ile yapılacak çalışma 27 adet deney ile yapılmıştır. Deney sayısı azaltılarak zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca yapılan ANOVA çalışması ile yüzey pürüzlülük değerine parametrelerinin yüzdesel etkileri; vuruş süresi için %39,53, akım için %31,02, vuruş bekleme süresi için %10,21 ve elektrot tipi için ise %2,2 tespit edilmiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Teşekkür

Deneylerin gerçekleştirilmesi için tüm imkanlarını paylaşan Neta Kalıp firmasına ve sabrından dolayı değerli eşime teşekkür ederim.

Kısaltma ve Semboller

- Al : Alüminyum
- ASTM : Amerikan Malzeme ve Testler Derneği
- Be : Berilyum
- C : Karbon
- CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
- Cr : Krom
- DC : Doğru Akım
- DIN : Alman Standardizasyon Enstitüsü
- E : En, mm

H	: Yükseklik, mm
L	: Boy, mm
log	: logaritma
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
PNC	: Pozitif Negatif Kontrol
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü, μm
S	: Kükürt
S/N	: Sinyal/Gürültü
Si	: Silisyum
V	: Vanadyum
Zr	: Zirkonyum

Kaynakça

- Aydın M., Gavas M., Yaşar M. Altunpak Y. (2022). *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri Talaşsız İmalat – Talaşlı İmalat – Eklemeli İmalat*. (5.Baskı). İstanbul:Seçkin Yayıncılık ISBN:9789750274459
- Bakal J.A., Defroda, S.F., Eltorai, A.E.M., Owens, B.D. (2023). *Translational Sports Medicine (1st ed.)*. USA:Academic Press.Doi: <https://doi.org/10.1016/C2020-0-04032-6>
- Bayramoğlu, M., Duffill, A. W. (1995). Manufacturing linear and circular contours using CNC EDM and frame type tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35,1125–1136. Doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(95\)90407-D](https://doi.org/10.1016/0890-6955(95)90407-D)
- Catoen, B., Rees, H. (2022). *Injection Mold Design Handbook (1st ed.)*. Münih:Hanser. Doi: <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01637-3>
- Crookall, J.R., Heuvelman, C.J., (1971). Electro-discharge machining the state of the art, *Annals of the CIRP*, 20(1), 113–120.
- Dursun, K. (2007). *Elektro Erozyon ile İşlemede Tel Demeti Elektrodun Performansının Deneysel ve Teorik İncelenmesi (Doktora Tezi)*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erman, B. (2021). *Mirrax Kalıp Çeliğinin Elektro Erozyon Yöntemi ile İşlenebilirliğinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

- Ho, K.H., Newman, S.T. (2003). State of the art electrical discharge machining. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43,1287-1300. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00162-7)
- Kalpakistan S., Schmid S.R., Bakkal M. (2022) *Mühendislik Malzemeleri İçin İmalat Yöntemleri 6. Basımdan Çeviri*, (1.Baskı). İstanbul:Literatür Yayıncılık. ISBN:9789750409226
- Kaya, E. (2022). *PEM Yakıt Pili Performansının Taguchi Metodu ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Koçak H. (2019). *Takım Çelikleri*. (10. Baskı). Kocaeli:Bolokur Teknik Yayıncılık. ISBN:9786056404849
- Malo, Y. (2023). *DIN 1.2344 Çeliğinin Elektro Erozyon ile İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Mennig, G., Stoeckert, K. (2013). *Mold-Making Handbook* (3rd ed.). Münih:Hanser. Doi: <https://doi.org/10.3139/9781569905500>
- Nas E., Argun K., Zurnacı E. (2018). AISI 1.2738 Çeliğinin Elektro-Erozyon Tezgahında Grafit Elektrot ile İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 574-581. Doi: <https://doi.org/10.29130/dubited.413185>
- Rachman F., Purnomo D. A., Fajardini A. R. Umami R. R. (2019). Optimization of Surface Roughness of AISI P20 on Electrical Discharge Machining Sinking Process using Taguchi Method, *JTAM*, 5(1), 50-59.Do: <https://doi.org/10.31764/jtam.v5i1.3291>
- Schumachera B.M., Krampitzb R., Kruthc J.P., (2013). Historical phases of EDM development driven by the dual influence of "Market Pull" and "Science Push. *Procedia CIRP* 6(1), 5-12, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.03.001>
- Singh, S., Bhardwaj, A., (2011) Review to EDM by using water and powder-mixed dielectric fluid, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 10(2), 199-230, Doi: <https://doi.org/10.4236/jmmce.2011.102014>
- Ünverdi M., Küçük H., (2019). Taguchi Yöntemi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Tasarlanan Levhalı Isı Değiştiricilerin Performanslarının Karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 25(4),373-386, Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.35493>
- URL-1: <https://turekim.com/urun/metal-islem> (Erişim Tarihi: 10.06.2024)