

Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

3B Metal Yazıcı Kullanılarak MIG-MAG Kaynak Yöntemi İle Tamir-Onarım Kaynak Uygulamasına Bir Örnek

Yusuf AYAN [a*], Ertan SARI [a], Nizamettin KAHRAMAN [a]

[a] *İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE*

ÖZET

Bu çalışmada; MIG-MAG kaynak ünitesi, 3B metal yazıcıya monte edilerek MAG kaynak yöntemi ile bir tamir-onarım kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için kırılmış kabul edilen bir makine dişlisi kullanılmıştır. Kırılmış dişlinin tasarımı bilgisayar destekli ortamda tasarlanıp lazer kesme işlemi ile üretilmiştir. Daha sonra kırık olan dişli parçaları hassas bir şekilde 3B metal yazıcının tablasına sabitlenmiştir. 3B yazıcıyla metal malzeme ve plastik malzeme biriktirme işlemleri arasında önemli bir fark bulunmaktadır. 3B yazıcılarda plastik malzeme kullanıldığında çalışma sıcaklığı yaklaşık 190-200 °C arasında iken metal malzeme ergitilirken çalışma sıcaklığı yaklaşık 3000-4000 °C'ye ulaşır. Bu çalışma sıcaklığının çok yüksek olması 3 boyutlu metal yazıcının çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle çalışmada metal doldurma işlemini gerçekleştirmek için 3 boyutlu metal yazıcıda önemli uyarlamalar yapılmıştır. Kırık dişli parçalarının tamir edilecek bölgesini doldurma işlemi MAG kaynağı ile ilk ikisi parçanın üst tarafından diğer ikisi ise alt tarafından olacak şekilde dört pasoda gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *3B metal yazıcı, MIG-MAG kaynağı, tamir-onarım kaynağı.*

An example of repair-maintenance welding application by using the MIG-MAG welding method with the 3d metal printer

ABSTRACT

In this study the repair-maintenance welding process performed with MAG welding method by a MIG-MAG welding equipment mounted on the 3D printing machine. For this aim an assumed broken machine gear was used. The CAD model of the broken gear designed and cut by laser cutting machine. Then the broken gear fixed exactly on the 3D metal printer. There is an important difference between accumulation of metals and accumulation of plastic materials. Operating temperature of plastics are between 190-200°C although metals are about between 3000-4000°C. Thus, it is inevitable that high operating temperatures effect adversely working of the 3D metal printer used in this study. For this reason, to deposite metal materials, important revisions applied on the 3D metal printer. Depositing process of the broken gear areas carried out four passes by MAG welding equipment (two are bottom side and other two are top side of the part).

Keywords: *3D metal printers, MIG-MAG welding, repair-maintenance welding.*

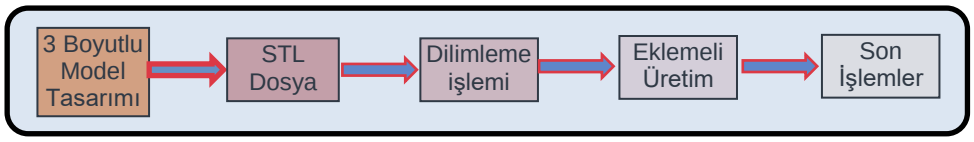
Geliş: 21.05.2018, Düzeltme: 04.06.2018, Kabul: 07.06.2018

I. GİRİŞ

İlk olarak 1980'li yıllarda geliştirilen 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanımı günümüzde giderek yaygınlaşmıştır [1]. 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak gerçekleştirilen 3 boyutlu imalat aynı zamanda tek bir terim ile tanımlanmayıp eklemeli imalat olarak da isimlendirilebilir [2]. 3 boyutlu imalat teknolojisi mühendislik, mimarlık ve endüstriyel tasarım alanlarında kullanılmaktadır [3]. Eklemeli imalat sadece prototipler üretmek için değil, aynı zamanda makine parçaları ve kalıp takımları gibi ürünler elde etmek için de kullanılabilir [4].

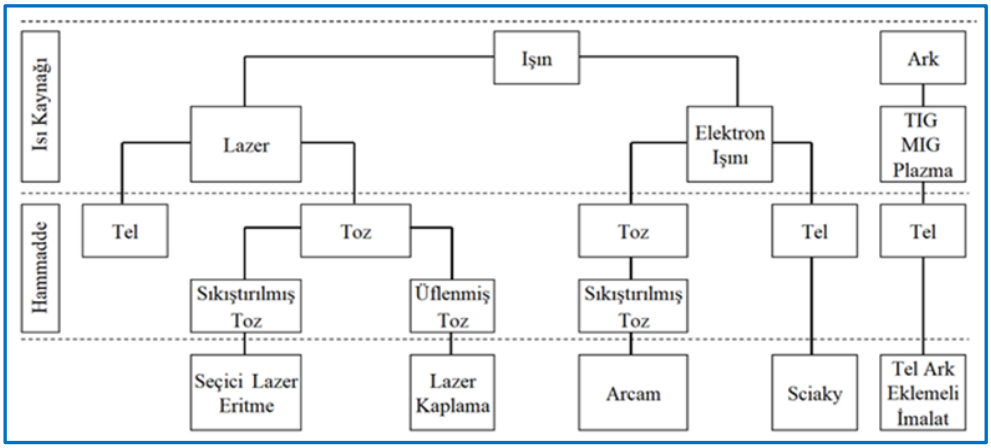
3 boyutlu imalat işlemi, bilgisayar destekli üç boyutlu tasarlanan bir ürünü katı bir nesneye dönüştürme işlemidir [5]. Bir nesne tabanından başlayarak katmanlar şeklinde üst üste eklenmesiyle oluşturulur [6]. Eklemeli imalat teknolojisiyle malzeme kullanımı ve üretim süresi azaltılarak parça maliyetinin düşürülmesi sağlanır. Bu teknoloji aynı zamanda karmaşık geometrili parçaların üretimini kolaylaştırarak tasarım serbestliği sunar [7].

Eklemeli imalat yöntemiyle üretilecek olan parça ilk olarak bilgisayar destekli ortamda tasarlanır. 3 boyutlu tasarlanan model STL dosya formatına dönüştürülür. Sonrasında dilimleme işlemi yapılarak katmanlara (tabakalara) ayrılması sağlanır ve böylelikle imalata hazır hale getirilir. Dilimleme işlemi yapılan model makineye gönderilerek imalat işlemi gerçekleştirilir. Üretim işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen ürüne kullanım amacına göre son işlemler uygulanabilir. Eklemeli imalat işlemiyle üretilen bir parçanın imalat aşamaları basit olarak Şekil 1'de sıralanmıştır [8].



Şekil 1. *Eklemeli imalat sisteminin şematik akışı [8].*

3 boyutlu imalat yöntemiyle yaygın olarak plastik malzemeler ergitilerek katı nesneler oluşturulur [5]. Eklemeli imalat teknikleriyle metal ve seramik malzemelerin üretimi de mümkündür [9]. Metaller için farklı özelliklere sahip birçok eklemeli imalat işlemi geliştirilmiştir [10]. Bu işlemler Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. *Metal eklemeli imalat işlemleri [11].*

Şekil 2'de gösterilen metal eklemeli imalat işlemleri incelendiğinde malzeme biriktirme (yığma) için gereken ısı kaynağının lazer, elektron ışın ve ark sistemlerinin enerjisi olduğu anlaşılmaktadır. Hammadde olarak ise metal tozları veya tel şeklinde metaller kullanılmaktadır.

Yüksek biriktirme oranları tercih edildiğinde tel, daha karmaşık parçaların üretilmek istenmesinde ise sıkıştırılmış toz ile üretim işlemi daha iyi olacaktır [10]. Diğer metal eklemeli imalat yöntemleri ile kıyaslandığında tel ark eklemeli imalat işlemi düşük maliyet, yüksek malzeme kullanımı ve yüksek biriktirme oranına sahiptir [12]. Tel ark eklemeli imalat yönteminde malzeme biriktirme saatte 4 kg/saat hızına kadar ulaşır [13]. Isı kaynağı olarak ark, hammadde için ise tel kullanılan tel ark eklemeli imalat yöntemi 1990'lı yıllardan beri eklemeli imalat işlemleri için araştırma konusu olmuştur [7]. Bu yöntem son zamanlarda büyük ölçekli mühendislik yapılarını üretme potansiyeline sahip olduğunu kanıtlamıştır. Tel ark eklemeli imalat işlemi özelleştirilmiş büyük parçaların düşük maliyette üretilmesinde diğer metal eklemeli yöntemlere göre önemli derecede dikkat çekici bir yöntem olmuştur [9]. Bu yöntem gazaltı ark kaynağı ekipmanına, numerik kontrollü freze tezgahı veya bir robot eklenerek uygulanabilir [14].

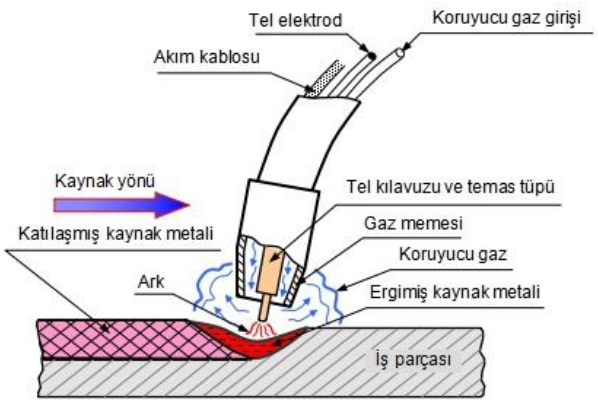
Titanyum, alüminyum, çelik ve diğer metal malzemeler içeren 10 kg'dan daha ağır büyük bileşenler tel eklemeli imalat yöntemiyle üretilebilir [7]. Bu yöntemle nikel esaslı paslanmaz çelik alaşımı [6], alüminyum alaşımı [15], nikel alüminyum bronz alaşımı [16] ve paslanmaz çelik [12] gibi malzemelerin üretilmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada üretimi gerçekleştirilen delta tip 3 boyutlu bir yazıcıya MIG-MAG kaynak ünitesi eklenerek bir tamir-onarım işlemi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar neticesinde anlaşılmıştır ki bu yapılan çalışma sadece bir kaynak işlemi olmayıp aslında bir tel ark eklemeli imalat işlemi örneğini kapsamaktadır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİ

Bu çalışmada üretimi gerçekleştirilen delta tip 3 boyutlu bir yazıcıya MIG-MAG kaynak ünitesi eklenerek bir tamir-onarım kaynak (eklemeli imalat) işlemi yapılmıştır. MIG-MAG kaynak yöntemi koruyucu bir gaz atmosferi altında kaynak edilecek olan malzemeyle, sürekli bir şekilde kaynak bölgesine gönderilen tel elektrod aracılığıyla ark oluşumu esasına dayanan bir kaynak yöntemidir [17]. Kaynak yapılacak bölge havanın olumsuz etkilerinden bir gaz ortamı ile korunduğundan bu yöntem "Gazaltı ark kaynak yöntemi" olarak adlandırılır. Şekil 3'de MIG-MAG kaynağı prensibinin şematik görüntüsü verilmiştir [18].



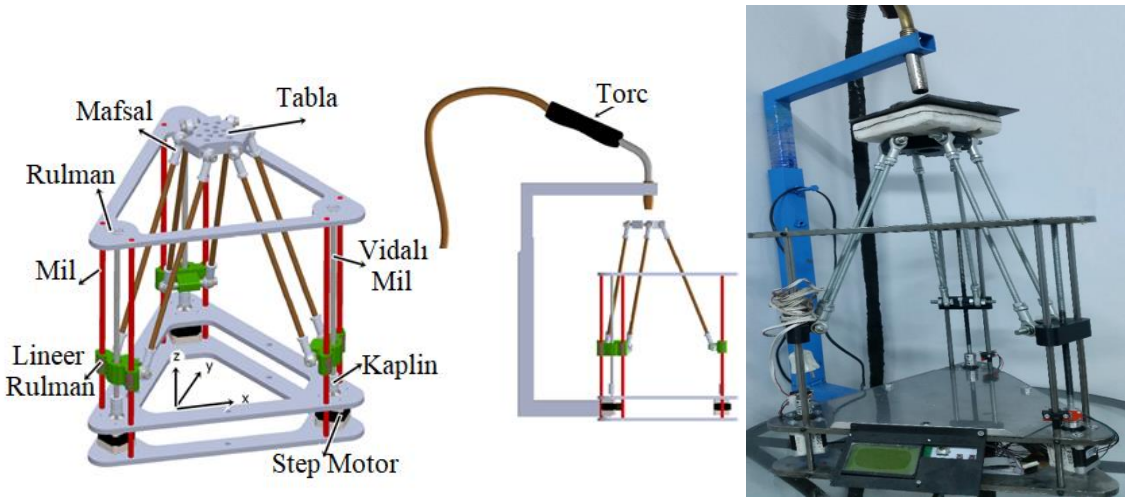
Şekil 3. *MIG-MAG kaynağı prensibi [18].*

MIG-MAG kaynak yöntemiyle her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının birleştirilmesi mümkündür. MIG/MAG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha iyi nüfuziyete, yüksek verimliliğe ve daha az sıçrama özelliklerine sahiptir [19]. Diğer kaynak yöntemlerinin arasında MIG ve MAG gibi gaz altı ark kaynakları daha uygun ve maliyet açısından verimli olmasından dolayı avantajlıdır ve çeşitli endüstriler tarafından benimsenmiştir. Bu yöntem aynı zamanda otomatik kaynak ekipmanlarıyla ya da bir robotla kolay bir şekilde uygulanır [20]. Bu yöntemle karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından birçok avantajlar sağlamaktadır [21].

B. 3 BOYUTLU METAL YAZICI TASARIMI

Üç boyutlu tasarımı yapılan 3 boyutlu metal yazıcı için, plastik malzemelerin 3 boyutlu üretiminde de kullanılan delta tip 3 boyutlu yazıcıların çalışma ve hareket sisteminden esinlenilmiştir. Yapılacak bu çalışma hakkında çeşitli araştırmalar yapıldığında benzer çalışma prensibinin daha önceden uygulandığı görülmüştür [22].

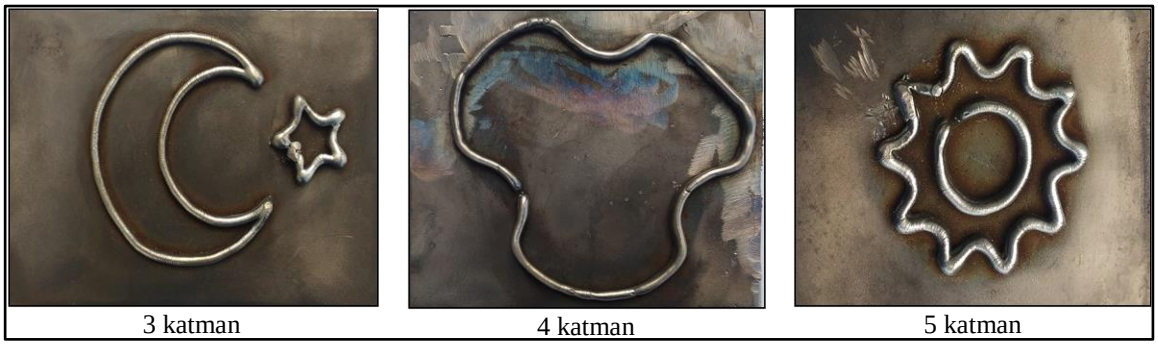
Üretimi gerçekleştirilecek olan delta tip 3 boyutlu metal yazıcının tasarımı öncelikle Şekil 4'de görüldüğü gibi bilgisayar destekli ortamda 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Çeşitli mekanik ve elektronik ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilen tasarımın tamamlanmış ve çalışmaya hazır hale getirilmiş durumu yine Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. *3 boyutlu metal yazıcı tasarımı, bileşenleri ve üretilmiş durumu.*

Sistemde MIG-MAG kaynak makinesinin torç bölümü sabit olmakla birlikte hareket 3 boyutlu metal yazıcının X-Y-Z koordinatlarındaki lineer hareketi tarafından üç adet step motorla sağlamaktadır. 3 boyutlu plastik yazıcılarda yoğun olarak kullanılan ABS ve PLA gibi filamentlerin [5] yerini bu çalışma için MIG-MAG kaynak ünitesinde kullanılan teller almıştır. MIG-MAG kaynak makinesinin torç kısmından gelen tel ile tablada oluşturulan ark aracılığıyla malzeme dolum işlemi gerçekleşmektedir.

Üretimi tamamlanıp kullanılmaya hazır hale getirilen 3 boyutlu metal yazıcıyla daha önceden çeşitli örnekler yazdırılmıştır. Bu örnekler Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. *3 boyutlu metal yazıcıyla önceden yapılan örnekler.*

III. BULGULAR VE- TARTIŞMA

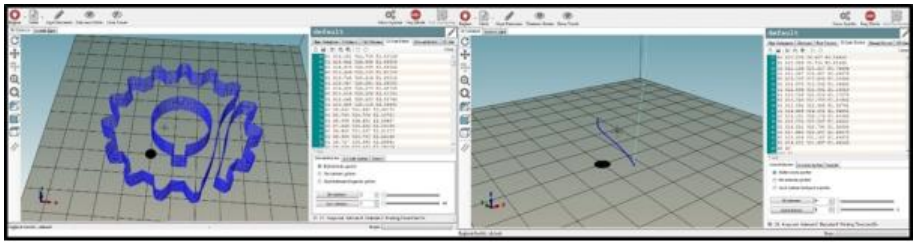
Bu çalışmada kırılmış varsayılan bir dişlinin 3 boyutlu metal yazıcıyla birleştirilebilirliği incelenmiştir. Dişlinin kırılmış varsayılan olarak tanımlanmasının sebebi birleştirilecek dişlinin daha önceden kullanılmadığı veya herhangi bir sebeple hasara uğrayıp kırılmadığı durumundan dolayıdır. Kırılmış kabul edilen dişli parçaları lazer kesimde aralarında boşluk olacak şekilde iki parça halinde üretilmiştir. Şekil 6'da kırılmış dişlinin parçaları gösterilmektedir.



Şekil 6. *Kırılmış dişli parçaları ve sabitlenmesi.*

Çalışmada kullanılan dişli malzemesi S235JR olarak seçilmiştir. MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen dişli parçaları için dolgu teli olarak SG2 tel, koruyucu gaz olarak ise HB212 karışım gazı kullanılmıştır. Birleştirme işlemi 4 pasoda gerçekleştirilmiş ve pasoların tamamında aynı kaynak parametreleri uygulanmıştır. Kaynak esnasında kaynak akımı 80 A, kaynak gerilimi 25 V, kaynak hızı ise 10 mm/sn olarak seçilmiştir. Her bir paso gerçekleştirildikten sonra diğer paso için malzemenin oda sıcaklığına soğuması beklenmiştir.

Şekil 6'da görülen dişli parçaları birbirini tamamlamayıp araları boşluklu olacak şekilde üretilmiştir. Çalışmada bu boşluğun doldurulması sağlanacaktır. Dişli parçalarının bilgisayar destekli tasarım verileri bulunmaktadır. Bu sayede 3 boyutlu metal yazıcıyla doldurulacak parçaların konumu ve şekli kolaylıkla belirlenmiştir. Şekil 7'de kırılmış dişli parçaların bilgisayar destekli üretim verileri gösterilmiştir.



Şekil 7. *Kırılmış dişli parçaların bilgisayar destekli üretim ekran görüntüsü.*

Uygulamada karşılaşılan zorluk doldurulacak parçaların metal yazıcının tablasına hassas bir şekilde sabitlenme işlemi olmuştur. Bunu sağlamak için çeşitli denemeler yapılmış bu işlemi sağlamak için birden fazla çift kırılmış varsayılan dişli parçaları kullanılmıştır. Kırık dişlinin doldurulacak yolunu belirlemek ve dişli parçalarının belirlenen bu yolda doldurulmasını sağlamak uzun süreler almış ve sonunda iş parçalarının düzgün ve hassas bir şekilde Şekil 6'daki gibi yazıcının tablasına tutturulması sağlanmıştır. Dişli parçalarını sabitlenmesinden sonra oluşturulan yol boyunca dişli parçalarının arasındaki boşluk doldurularak birleştirme işlemi tamamlanmıştır. Birleştirme işlemi dört pasoda gerçekleştirilmiştir. İlk ikisi parçanın alt tarafından diğerleri ise parçanın üst tarafından olacak şekilde uygulanmıştır. Birleştirme işlemi tamamlanan dişli Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. *Birleştirilen dişli parçalarının son durumu.*

Çelik ve Çetinkaya (2016) çalışmalarında 3 boyutlu yazıcılarda ABS ve PLA gibi polimer malzemelerin yaygın olarak kullanıldığını ve hammaddesi metal olan yazıcıların maliyetli oldukların belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise metal malzeme kullanılarak 3 boyutlu yazıcıyla metal biriktirme işlemi yapılmıştır. Bir başka çalışmada Gür (2017) 3 boyutlu yazıcı kullanarak ABS polimer malzemesiyle sıfırdan son haline bir nesnenin üretimini gerçekleştirmiştir. Çelebi vd. (2017) PLA polimer malzemesini kullanarak yine farklı bir nesnenin tam haliyle üretilmesi konusunda bir çalışmada bulunmuşlardır. Abe and Sasahara (2016), Ji et al. (2017), Gu et al. (2018), Ding et al. (2016) yaptıkları çalışmalarında metal ark eklemeli imalat yöntemini kullanarak çeşitli metal numuneler üretip, bu numuneler üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ise bir nesnenin bütün olarak imalatı yapılmamış veya deneylerde kullanılmak üzere herhangi metal numuneler üretilmemiş, daha önceden üretilen bir iş parçasına tamir-onarım işlemi uygulanmıştır. Bu işlem metal malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma bu bakımdan farklılık sağlayarak 3 boyutlu yazıcıyla metal imalat yönteminin tamir-onarım işlemlerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 boyutlu metal yazıcıyla kırılan bir makine parçasının birleştirilebilirliği incelenmiştir. Şekil 8 çalışma sonucunda birleştirilmiş dişlinin alt ve üst kısmını göstermektedir. Şekil 8'de de görüldüğü gibi birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tür birleştirme işlemi yapılabilmesi için kırılan parçaların tamir-onarım işlemi yapılacak bölgelerinin bilgisayar destekli ortamda kolay bir şekilde belirlenebilmesi gerekir. Buna göre malzeme yığma bölgesi ve yönü doğru bir şekilde tespit edilmelidir. Çalışmada bu işlemi uygulamak uzun süreler almıştır. Bunun yanı sıra kaynak hızınında doğru seçilmesi ve ayarlanması da sağlanmalıdır.

Birleştirilen parçaların birleşme bölgesinde gözle görülür hatalara rastlanılmamıştır. Ancak farklı yöntemler uygulanarak birleştirilen bölgenin doluluk oranı iyi bir şekilde incelenip boşluklu yapının olup olmama durumu incelenmelidir.

MIG-MAG kaynak yönteminin kolay uygulanabilir olması üretilen bu metal yazıcıyla eklemeli imalat yapılabilmesine fayda sağlamıştır. Çalışmada kullanılan 3 boyutlu metal yazıcının tablasına iş parçası bağlanarak tabla hareket etmekte, dolgu yapan torç ise sabit durmaktadır. Tabla üzerinde iş parçasıyla

hareket etmektedir. Bu durum ise iş parçasının kendi ağırlığından ve ayrıca iş parçasına yapılan dolgu metalinin ağırlığından dolayı çalışma esnasında tablanın hareketini zorlaştırmakta ve istenilen ölçüleri sağlamada olumsuz bir etken olmaktadır. Kaynak torçunun hareketli, iş parçasının sabit olduğu tasarımın daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Böyle bir tasarımda iş parçasının boyutu ve ağırlığı kısıtı olamayacak daha büyük boyutta üretimler gerçekleşebilecektir. İleride böyle bir tasarım yapılarak farklı iki tür 3 boyutlu metal yazıcının uygulanabilirlik ve fayda yönünden karşılaştırılmasının yapılması planlanmaktadır.

Kırılan makine parçalarının hassas bir şekilde birleştirilebilmesi için kırılmış bölgenin durumu doğru bir şekilde belirlenmelidir. Bu amaçla ölçüleri önceden bilinmeyen kırılmış parçaların öncelikle boyutsal ölçülerini 3 boyutlu olarak tarayıp daha sonra kırılan bölgenin doldurma yolunu belirleyebilecek bir sistem geliştirilirse tamir-onarım işleri daha kolay olacaktır. İleride yapılabilecek böyle bir sistemin 3 boyutlu metal yazıcılara adapte edilmesi durumunda işlem kolaylığı oluşacaktır. Böylelikle malzeme tasarrufu ve eklemeli imalat işleminin uygulama süresi bakımından kazanç sağlanacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] Y. Gür, "3 boyutlu masa üstü yazıcı ile matematiksel bir modelden gerçek bir nesnenin dijital üretimi," *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 237-245, 2017.

[2] K. Özsoy, B. Duman, "Eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin eğitimde kullanılabilirliği," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 1, s. 1, ss. 36-48, 2017.

[3] A. Çelebi, H. Tosun, A. C. Önçağ, "Hasarlı bir kafatasının üç boyutlu yazıcı ile imalatı ve implant tasarımı," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*. c. 1, s. 1, ss. 27-35, 2017.

[4] T. Abe, H. Sasahara, "Dissimilar metal deposition with a stainless steel and nickel-based alloy using wire and arc-based additive manufacturing," *Precision Engineering*, vol. 45, pp. 387-395, 2016.

[5] D. Çelik, K. Çetinkaya, "Üç boyutlu yazıcı tasarımları, prototipleri ve ürün yazdırma karşılaştırmaları," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 151-163, 2016.

[6] H. Karaduman, "Sosyal bilgiler eğitiminde 3 boyutlu yazıcıların kullanımı," A*JESI – Anadolu Journal of Educational Sciences International, c.* 7, s. 3, ss. 590-625, 2017.

[7] S. W. Williams, F. Martina, A. C. Addison, J. Ding, G. Pardal, P. Colegrove, "Wire+arc additive manufacturing," *Materials Science and Technology*, vol. 32, no. 7, pp. 641-647, 2016.

[8] S. Turhan, A. Ozsoy, "DMLS yöntemiyle imal edilen Ti6Al4V alaşım özelliklerine işlem parametrelerinin etkisi," *SDU International Journal of Technological Science*, c. 8, s. 2, ss. 15-27, 2016.

[9] A. Lopez, R. Bacelar, I. Pires, T. Santos, L. Quintino, "Mapping of non-destructive techniques for inspection of wire and arc additive manufacturing," *Proceedings of the 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design,* Portugal, 2017, pp. 1829-1844.

[10] M. Neikter, P. Åkerfeldt, R. Pederson, M. L. Antti, "Microstructure characterization of Ti-6Al-4V from different additive manufacturing processes," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 258, 012007, 2017.

[11] F. Martina, (2018, Dec 25) [Online]. Available:Wire + Arc Additive Manufacturing: properties, cost,parts.https://www.researchgate.net/profile/Filomeno_Martina/publication/278017889_Wire_Arc_Additive_Manufacturing_properties_cost_parts/links/557866a308aeacff200282e0/Wire-Arc-Additive-Manufacturing-properties-cost-parts.

[12] L. Ji, J. Lu, C. Liu, C. Jing, H. Fan, S. Ma, "Microstructure and mechanical properties of 304L steel fabricated by arc additive manufacturing," *MATEC Web of Conferences,* vol. 128, 03006, 2017.

[13] C. R. Cunningham, S. Wikshåland, F. Xu, N. Kemakolam, A. Shaokrani, V. Dhokia, S. T. Newman, "Cost modelling and sensitivity analysis of wire and arc additive manufacturing," *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing,* Italy, 2017, pp. 650-657.

[14] J. González, I. Rodríguez, J. L. Prado-Cerqueira, J. L. Diéguez, A. Pereira, "Additive manufacturing with GMAW welding and CMT technology," *Procedia Manufacturing,* vol. 13, pp. 840-847, 2017.

[15] J. Gu, B. Cong, J. Ding, S. W. Williams, Y. Zhai, (2018, Feb 25) "Wire+arc additive manufacturing of aluminum," http://sffsymposium.engr.utexas.edu/sites/default/files/2014-038-Gu.pdf.

[16] D. Ding, Z. Pan, S. Duin, H. Li, C. Shen, "Fabricating superior NiAl bronze components through wire arc additive manufacturing," *Materials,* vol. 9, no. 8, pp.652 , 2016.

[17] İ. Candan, A. Durgutlu, N. Kahraman, B. Gülenç, "Farklı pozisyonlarda MAG kaynağı ile birleştirilen boruların kaynak dikişlerinin ultrasonik ve mekanik muayenesi," *Politeknik Dergisi,* c. 9 s. 3, ss. 203-209, 2006.

[18] N. Kahraman, B. Gülenç, *Modern Kaynak Teknolojisi*, 3. Baskı. Ankara, Türkiye: EPAMAT Basım Yayın San. Ltd. Şti, 2016. böl. 5, ss. 100.

[19]. A. Yürük, N. Kahraman, "Farklı alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.4, s. 3, ss. 894-901, 2016.

[20] U. Tomoyuki, O. Toshio, Y. Kei, T. Manabu, U. Masao, N. Kazuhiro, "High-speed welding of steel sheets by the tandem pulsed gas metal arc welding system," *Transactions of JWR,* vol. 34, no. 1, pp. 11-18, 2005.

[21] Z. Tatlı, C. Köse, “AA 5754 Alüminyum alaşımının robot (MIG) kaynağı ile birleştirilmesi ve mikroyapısının incelenmesi,” *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 2011, ss. 339-343.

[22] G. C. Anzalone, C. Zhang, B. Winjen, P. G. Sandersi, J. M. Pearce, “A low-cost open-source metal 3-d printer,” *IEEE Access*, vol. 1, pp. 803-810, 2013.