

WAAM İŞLEMİNDE SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

Ahmetcan ÖNAL¹

¹ Ar-Ge Direktörü, INTECRO Robotics, Ankara, TÜRKİYE, ahmetcan.onal@intecro.com.tr

ÖZET

Endüstride birçok üretim yöntemi kullanılmaktadır. Ancak savunma ve havacılık gibi sektörlerde kullanılan hammadde oldukça pahalıdır. Bu nedenle, üretim işlemlerinde hammadde israfının önüne geçilmesi amacıyla çeşitli üretim yöntemleri üzerine araştırmalar son yıllarda hız kazanmıştır.

3 boyutlu metal yazıcı teknolojileri bunlardan en önde gelenidir. Bu tip sistemlerde eklemeli katman yöntemi kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan akademik ve sektörel araştırmalar sonucunda tel ve ark tekniği kullanılan eklemeli katman yönteminin eski yöntemlere göre hammadde israfının düşüklüğü ve malzeme kalitesi gibi çeşitli avantajlar getirdiği görülmektedir. Soğuk metal transferi teknolojisi kullanılarak yapılan üretimde diğer kaynak yöntemlerine göre boncuk şeklinde etrafa dağılmaması, yüksek kalitede olması, düşük sıcaklıkta çalışması, neredeyse cüruf oluşturmaması gibi avantajlar sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tel Arc Eklemeli İmalat Soğuk Metal Transferi, Robotik

ABSTRACT

Many production methods are used in industry. But the raw materials used in sectors such as defense and aviation are quite expensive. For this reason, research on various production methods has been accelerated in recent years in order to prevent waste of raw materials in production processes.

3D metal printer technologies are the most prominent of these. Additive manufacturing method is used in this type of systems. However, as a result of the academic and sectoral researches made in recent years, it is seen that the additive manufacturing method using wire and arc technique has several advantages such as low raw material waste and material quality compared to the old methods. The advantage of cold metal transfer technology is that it is not scattered around in the form of beads, it is high quality, it works at low temperature and it does not cause slag, compared to other welding methods.

Key Words: WAAM, CMT, Wire Arc Additive Manufacturing, Cold Metal Transfer, Robotics

1. GİRİŞ

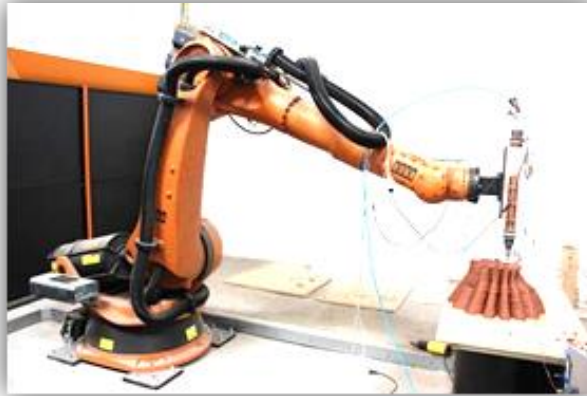
Sanayide çeşitli ürünlerin üretimlerine yönelik birçok yöntem bulunmaktadır. Teknoloji geliştikçe üreticiler kendi ürünlerinin üretimi doğrultusunda amaçlarına en uygun sistemleri kullanmaya başlamaktadırlar.

CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim) teknolojilerinin piyasaya entegre olmasıyla üreticiler eskiye göre daha hızlı, daha hassas ölçülerde ve daha ekonomik üretim kabiliyetine sahip olmuşlardır. Bundan dolayı sanayide üretilen ürünlerin daha ekonomik ve daha hatasız üretimlerine yönelik çalışmalar çeşitli üniversite ve firmaların bünyelerindeki araştırma geliştirme birimlerinde hızla devam etmektedir. Üretim genelde

hammadenin çeşitli imalat yöntemlerinden geçerek son halini alması şeklinde ilerlemektedir. Kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinde fire oluşmaktadır ve bundan dolayı kullanılan hammaddenin bir kısmı hurda olarak düşük ücretlerle de olsa elden çıkartılarak zararın minimum olmasına çalışılmaktadır. Ancak havacılık gibi yüksek teknoloji kullanılan sektörlerde oluşan fireler çok büyük bir maliyet demektir. Bu göz önünde bulundurulduğunda araştırmalar 3 boyutlu yazıcı teknolojileri üzerine yoğunlaşmıştır. 3 boyutlu yazıcılar piyasaya ilk çıktıkları andan itibaren endüstride büyük bir karşılık bulmuştur. Bu cihazlar sayesinde prototip üretiminin yanısıra son ürün üretimi gerçekleştirilebilmektedir. 3 boyutlu yazıcılar genelde 3 eksenli (X – Y – Z) kartezyen sistemler (Şekil 1) olsalar da günümüzde 6 hatta 7 eksenli eklemlı robotlar (Şekil 2) da kullanılmaktadır.



Şekil 1. Kartezyen 3 Boyutlu Yazıcı

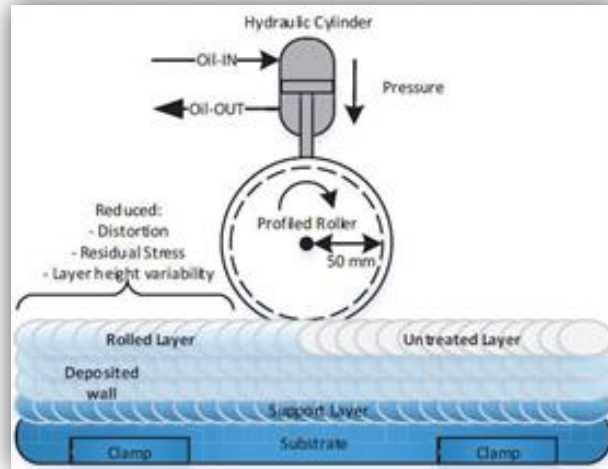


Şekil 1. Eklemlı Robot 3 Boyutlu Yazıcı

Başlarda 3 boyutlu yazıcılarda hammadde olarak genelde plastik türevleri kullanılsa da, metal üretim yapan 3 boyutlu yazıcılara olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Literatüre bakıldığında bu konu üzerine bir çok akademik ve endüstriyel çalışma olduğu görülmektedir. Güncel çalışmalara bakılacak olursa metal ürün üretiminde kaynak teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar göze çarpmaktadır.

[1] Busachi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada savunma sanayisi için WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) tabanlı bir imalat sistemi tasarımı üzerine çalışılmıştır. Yazarlar çalışmalarında bu teknolojinin hammadde gereksiz kullanımını büyük oranda azalttığından bahsetmektedirler. Bu oranın %90 seviyesinden %10'a indiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ortaya çıkan ürünün son haline oldukça yakın olmasından dolayı titanyum gibi değerli malzemelerin israfının önleendiğinden bahsetmişlerdir. Yazarlar bu çalışmalarında hammadde olarak Ti-6Al-4V kullandıklarından plazma kaynağı kullanmışlardır. Bu işlem sırasında çeşitli problemlerle karşılaşmışlardır. Bunlardan başlıcaları parça üzerinde oluşan gerilim ve bükülmedir. Bu sorunların işlem öncesi, işlem sırasında ve işlem sonrası yapılacak müdahalelerle çözülebileceği belirtilmiştir. Ancak en önemlisinin işlem sırasında yapılacak müdahale olduğu belirtilmiştir. Yazarlar bu çalışmada işlem sırası müdahale için bir makaradan faydalanmışlardır. Bu makara hidrolik bir silindir (Şekil 3) vasıtasıyla her katmanın üzerinden geçerek

- Gerilim
- Farklı katman yükseklikleri oluşumu
- Enine Deformasyon (Dalgalı Yüzey) gibi sorunları en aza indirir.



Şekil 3. Makara

[2] Williams ve arkadaşları yayınladıkları çalışmalarında bir WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) sistemi üzerine çalışmışlardır.

Yazarlar sistemin var olan sistemlere getirdiği ek avantajları yüksek yığıma hızı ve kaliteli yapısal bütünlük olarak sıralamışlardır. Ti-6Al-4V kullanım alanlarının başında uçak kanatlarının ana kirişi ve rüzgar tüneli gibi yapıların bulunduğunu belirten yazarlar hızla büyüyen uçak endüstrisi ile beraber titanyum ihtiyacının da artacağını belirtmişlerdir. Titanyumun elde edilmesi ve işlenmesi pahalıdır. Bundan dolayı var olan üretim sistemlerinin yerine geçecek yeni bir sistem arayışı doğduğunu belirten yazarlar WAAM sisteminin bu ihtiyacı karşılayacağını önermektedirler. Yazarlar çalışmalarında CMT (Cold Metal Transfer – Soğuk Metal Transferi) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem klasik MIG kaynağı yönteminin farklı bir versiyonudur. Bu yöntemde metal boncuk şeklinde yüksek bir kalitede, düşük sıcaklıkta ve neredeyse cüruf oluşturmadan üretim gerçekleştirilmektedir. WAAM ile üretilen alüminyum parçaların gözenek sorunları olduğundan bahseden yazarlar kaliteli tel ve farklı çalışma modlarıyla bu sorun kolaylıkla üstesinden gelinebileceğini öngörmüştür.

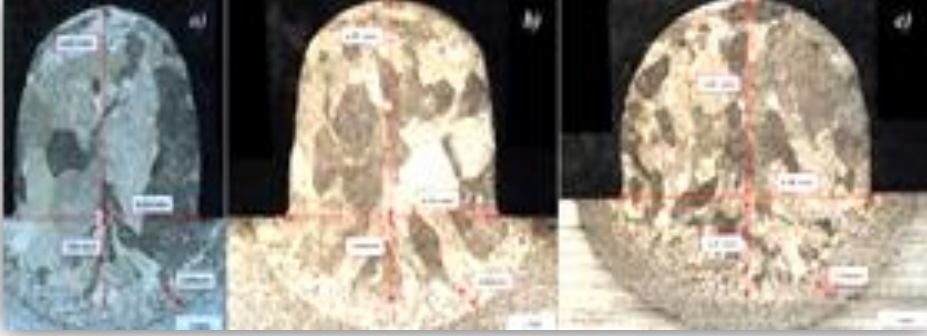
[3] Scott yayınladığı çalışmada Damen Shipyards Group, Ramlab Promarin, Autodesk ve Bureau Veritas'ın ortak bir şekilde gemiye itici güç sağlayan pervane prototipini (Şekil 4) WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) kullanarak üretimini gerçekleştirmeyi başardıklarından bahsetmiştir.



Şekil 4. Pervane Prototipi

Çalışma kapsamında çeşitli araştırma ve laboratuvar testlerinden sonra sistemin son hale geldiği ve üretimi süren ikinci pervanenin üretimi tamamlandığında kıyı römorkörlerine monte edilebilecek kalitedeki pervanelerin üretilebileceği öngörülmektedir.

[4] Almeida ve arkadaşları yayınladıkları çalışmada CMT (Cold Metal Transfer – Soğuk Metal Transferi) yöntemini kullanarak bir WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) sistemi üzerine çalışmışlardır. Sistemin, ark yönü sapması, damla şeklinde metalin etrafa sıçraması gibi sorunların, düşük sıcaklık girdisi ve tekrarlanabilirlik ile üstesinden geldiğini öne sürmüşlerdir. Sistem, Ti-6Al-4V parçalar için yüksek yığıma hızı oranıyla çözüm üretmiştir. Yapılan bu çalışmada füzyon bölgesine ait granül boyutları ve yapıları, doğrudan doğruya koruyucu gaz ile bağlantılıdır. (Şekil 5)



Şekil 5. Farklı Gazlar Altında CMT Kaynak Optik Makrografik Görüntüleri

Yazarlar helyum oranı yüksek koruyucu gaz kullanıldığında en yüksek kaliteye ulaşıldığını söylemektedirler.

[5] Fletcher ve arkadaşları yaptıkları çalışmada WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) teknolojisi TIG kaynağı kullanarak incelemişlerdir. Yazarlar bu teknolojinin ortaya çıkmasında en büyük etkenin, özellikle havacılık endüstrisinde, üretim maliyetini düşürmek ve malzeme israfını önlemek olduğunu öne sürmüşlerdir. Yazarlar, elektron bombardımanı ve laser teknolojileri çok başarılı görünse de maliyeti çok yüksek bulmuşlardır. Bu teknolojileri çok karmaşık geometrilerin kolaylıkla üstesinden gelse de, işleme hızı ve parça ebatları açısından sınırlı bulan yazarlar WAAM tekniği ile yüksek yığılma oranları elde etmenin mümkün olduğunu, üstelik üretilmesi istenen parça boyutlarının birkaç metreyi bulabildiğini belirtmişlerdir. Bu teknikte kullanılan alaşımların oksijene karşı çok daha duyarlı olduğunu belirten yazarlar sistemin kaynak sırasında korunması için içi soygazla dolu bir çevreleme sistemi (Şekil 6) kullanılmasını gerektiğini söylemektedirler.



Şekil 6. Soygaz Çevreleme Sistemi

Yazarlar bu sistemin avantajlarını;

- Maliyet
- Uyumluluk
- Geniş Görüş Alanı
- Farklı Erişim Noktaları

olarak sıralamışlardır.

Bu çalışmada WAAM sisteminde soğuk metal transferi (CMT) üzerine çalışılmıştır. ER1100 kaynak teli kullanılarak çeşitli geometrilerde parçalar üretilmiş ardından hassas yüzey işleme işlemi öncesi ve sonrası incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler doğrultusunda gelecek çalışmalar planı oluşturulmuştur.

2. WAAM SİSTEMİNDE CMT KULLANIMI

AM (Additive Manufacturing – Eklemeli Üretim) teknolojisinde, hammadde israfının azaltılması ve üretim süresinin kısaltılması ile parça maliyetinin azaltılması sağlanabilmektedir. Bu teknoloji aynı zamanda tasarım serbestliği sağlamaktadır. Bu sistem 3 ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar

- Isı kaynağı
- Hareket sistemi
- Hammadde

olarak sıralanabilir. Bu sistem sayesinde küçük parçaların daha karışık geometrilerde olsalar dahi üretimleri gerçekleştirebilmektedir. WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) sistemlerinde ise AM (Additive Manufacturing – Eklemeli Üretim) sistemlerinden farklı olarak elektrik arkı ısı kaynağı olarak kullanılmakta ve tel beslemesi de hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde kaynak yöntemi olarak MIG/MAG, TIG, Plazma veya CMT kullanılabilir. Bu çalışmada diğer yöntemlere göre çeşitli avantajlarından dolayı CMT kullanılmıştır [2]. Bu avantajlar;

- Boncuk şeklinde etrafa dağılmaması
- Yüksek kalitede olması
- Düşük sıcaklıkta çalışması
- Neredeyse cüruf oluşturmaması olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada hareket sistemi olarak KUKA markasının ürettiği KR16 L6-2 modeli (Şekil 7) kullanılmıştır.



Şekil 7. KUKA KR 16 L6-2 6 Eksenli Robot

Bu modelin tercih edilme nedeni 6 eksenli olmasından ve boyutlarından dolayı yüksek hareket ve erişim kabiliyetidir [6]. Isı kaynağı olarak CMT özelliği olan Fronius markasının ürettiği TPS/i (Şekil 8) kullanılmıştır [7].

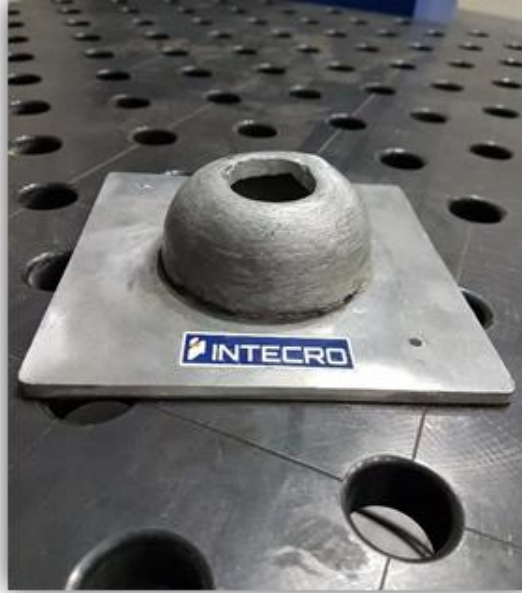


Şekil 8. Fronius TPS/i CMT Robotik

Kaynak Makinesi Sistemde hammadde beslemesi olarak ER1100 kaynak teli kullanılmıştır.
Tel alışımı;

- Cu = 0.05 – 0.20
- Al = 99.0 min
- Mn = 0.05 max
- Si + Fe = 0.95 max
- Zn = 0.10 max
- Be = 0.0003 max
- Diğer = 0.05 – 0.15 toplam

olarak sıralanmıştır. Telin akma direnci 20N/mm² ve çekme direnci 65 N/mm² değerindedir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda malzemenin yumuşak bir malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Yumuşak bir malzeme seçilmesinin sebebi üretim sonrası parçaya hassas yüzey işleme yapılırken makine motorunun kolay çalışabilmesidir. İşlem sırasında akım değeri 50-60A arasında tutulmuştur. İşlemden önce basit bir geometriye sahip bir parça üretilmiştir (Şekil 9). Üretilen parça hiç bir işleme sokulmadan dilimlenip iç ve dış yüzeyleri incelenmiştir. (Şekil 10)



Şekil 9. WAAM CMT ile Üretilen Ürün



Şekil 10. WAAM CMT Ürün Kesiti

Bu işlem sonrası üretimde bir sorunla karşılaşılmadığı görülerek daha zor geometriler üzerine çalışılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. WAAM CMT ile Üretilen Çeşitli Parçalar

3. SONUÇ

Bu çalışmada WAAM (Wire + Arc Additive Manufacturing – Tel + Arc Eklemeli İmalat) işleminde CMT (Cold Metal Transfer – Soğuk Metal Transferi) tekniği kullanılarak çeşitli geometrilerde parçalar üretilmiş ve incelenmiştir. Üretilen parçalarda hassas yüzey işlemleri uygulamadan önce göz ile görülen katman izleri olduğu görülmüştür.

Parça kesit incelemesi amacıyla dilimlenmiştir fakat alüminyum alaşım malzemenin yumuşak olmasından dolayı taşlama ile kesildiğinde kesim yüzeyinde yığılma meydana gelmiştir ve bundan dolayı bir inceleme yapılmamıştır.

Gelecek çalışmalarda savunma ve havacılık endüstrilerinin ihtiyaçları doğrultusunda titanyum alaşımları ile üretim yapılması hedeflenmektedir. Bu alaşımlar oksijen ile daha fazla tepkimeye girdiklerinden dolayı soygaz dolu bir çerçeve ile dış ortamdan izole edilmesi planlanmaktadır [5]. Bu üretilecek olan ve geçmişte üretilen parçaların akredite bir kuruluşta tahribatlı muayene, makrografik görüntüleme gibi testler ile incelenmesi hedeflenmektedir. Bu incelemeler sonucunda üretimden kaynaklanan sorunların en aza indirilmesi mümkün olacaktır.

4. KAYNAKÇA

- [1] Alessandro Busachi, John Erkoyuncu, Paul Colegrove, Filomeno Martina, Jialuo Ding, “Designing a WAAM Based Manufacturing System for Defence Applications”, CIRP 37 - Understanding the life cycle implications of manufacturing, sf.48-53, 2015.
- [2] S. W. Williams, F. Martina, A. C. Addison, J. Ding, G. Pardal and P. Colegrove, “Wire + Arc Additive Manufacturing”, Materials Science and Technology vol.32, Iss.7, sf.641-647, 2016.
- [3] Clare Scott, “3D Printing Complete on History-Making WAAMPeller Prototype”, <https://3dprint.com/187244/3d-printed-waampeller-prototype/>.
- [4] SEQUEIRA ALMEIDA, S. WILLIAMS, “INNOVATIVE PROCESS MODEL OF TI-6AL-4VADDITIVELAYER MANUFACTURING USING COLD METAL TRANSFER (CMT)”, The 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Ocak 2010.
- [5] Dr. Michael J. Fletcher, “WP-197 Additive Layer Manufacturing (ALM)”, https://www.huntingdonfusion.com/index.php/en_gb/white-papers/2757-wp-197-additive-layer-manufacturing.
- [6] KUKA, “KUKA KR16 L6-2 Product Description”, <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-16>.
- [7] Fronius, “Cmt – Cold Metal Transfer: The Cold Welding Process For Premium Quality”, <http://www.fronius.com/en/welding-technology/our-expertise/welding-processes/cmt>.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, INTECRO Robotics personelinin ve yönetim kurulunun özverili çalışmaları ve destekleri sonucu gerçekleşmiştir.