

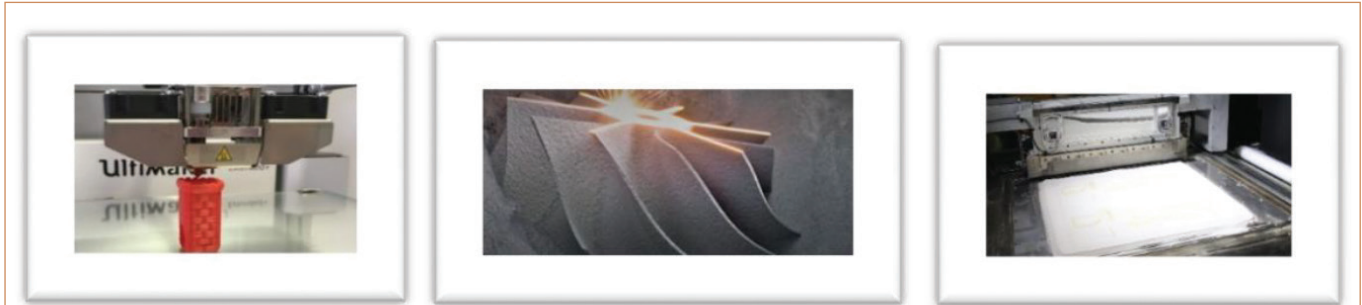
KATMANLI İMALAT YÖNTEMİ İLE MALZEME YÜZEY KAPLANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sefa Kayır¹, Hasan Hasırcı²

1. GİRİŞ

Katmanlı imalat; kendi içerisinde farklı tekniklere göre değişmekle birlikte, genelde toz veya tel ham malzemenin ergitilmesi/tozların sinterlenmesi (Şekil 1)/yapıştırılması ile bir parçanın üst üste katmanlar halinde üretilmesi

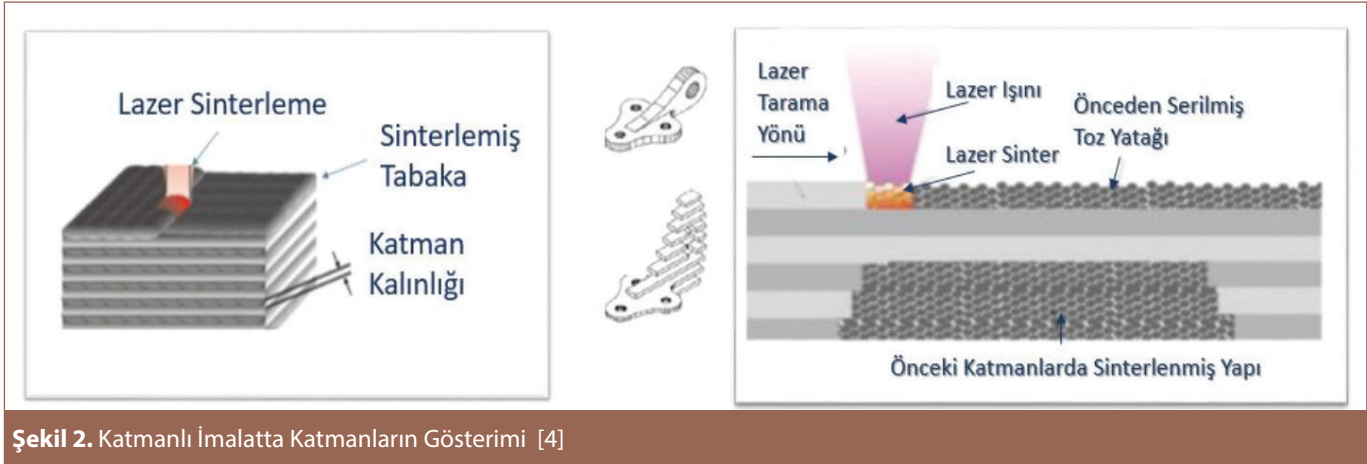
prensibine dayanır [1]. ASTM (American Society of Testing Materials) standardı F2792-10'a göre katmanlı imalat, geleneksel makineyle işleme gibi üretim metotlarının aksine, malzemelerin üç boyutlu (3B) model verilerinden nesnelere yapmak için genellikle üst üste katmanlar şeklinde üretilmesi sürecidir. [2]. İmal edilecek parça birbiri



Şekil 1. Ergitme/Sinterleme/Bağlayıcı İlaveli Katmanlı İmalat Sistemleri [3]

¹ Makina Mühendisi, Nuro Makina ve Sanayi A.Ş. - sefa.kayir@nurolmakina.com.tr

² Öğretim Görevlisi, Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü - hasirci@gazi.edu.tr



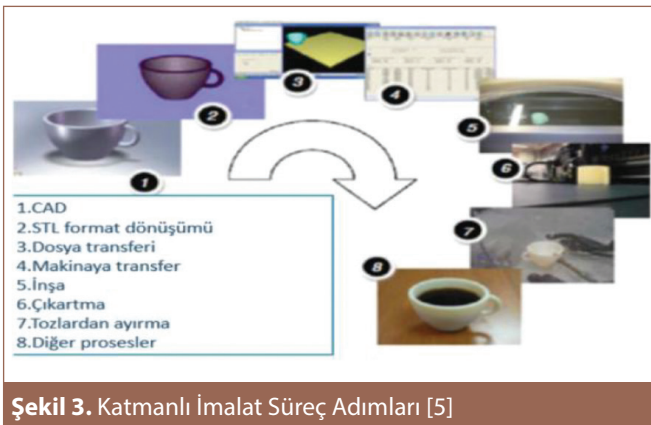
Şekil 2. Katmanlı İmalatta Katmanların Gösterimi [4]

üstüne takip eden katmanlar halinde bir temel mantığı olan üretim biçimidir (Şekil 2). Bir tabakanın partikülleri ısı ve kimyasallarla birleştirdikten sonra yeni tabaka eklenerek süreç tekrarlanmaktadır. Bu metotla katmanlı üretim sonrasında diğer yöntemlere göre göreceli olarak daha kısa sürede parça üretilebilir, tasarım değişikliği için hiçbir maliyet ya da süre gerekmez. Katmanlı imalat; tasarım sınırlamalarını ortadan kaldırdığından, karmaşık geometrilere sahip üretim için elverişlidir.

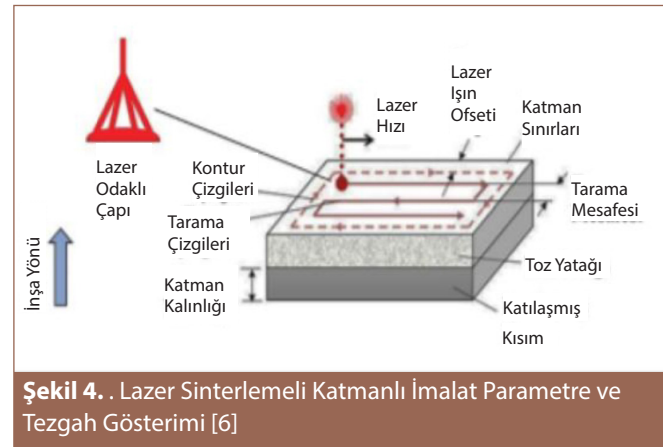
2. KATMANLI İMALAT YÖNTEMİ

Katmanlı imalat prosesinde, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ile parçanın üç boyutlu geometrisini temsil eden katı veya yüzey model dosyasının bilgisayar ortamında oluşturulmasını, parça model dosyasının (stl) katmanlı imalat tezgahlarının kabul yapabileceği formata dönüşümü aşaması, yazdırma öncesinde farklı yazılımlar [3, 4] vasıtası ile iş hazırlıklarının yapılması ve kullanılacak tezgâha hazırlanan iş dosyasının yüklenmesi gerekmektedir. Hazırlık işlemi, parça model dosyasının tezgah üze-

rinde yerleşim planı, destek yapıları, katmanlara ayırma ve proses parametrelerinin atanmasını içerir. İnşa (yazdırma), parçanın seçilen malzemeden, gerektiğinde destek yapılardan yardım alınarak katmanlı imalat tezgahında katman katman oluşturulmasıdır. Çıkarma ve ikincil işlemler, parçanın gerekli ise altlık veya inşa platformu ile birlikte tezgahtan uzaklaştırılmasıdır. Altlığın kesilmesi, destek yapıların sökülmesi, kumlama, parlatma ve talaşlı imalat yapılması ve gerekli diğer işlem süreçlerinden oluşmaktadır (Şekil 3).Lazer sinterlemeli katmanlı imalat için hazırlık tanımlanmasından sonra, uygulama için toz yatağına serilen partiküllerin temel tanecik türü olarak seçilmiş tozlar (yapıda istenen özelliklere göre toz çeşidi, tane büyüklükleri ve gerekli bağlayıcı kimyasallar değişiklik göstermekte) lazer yardımıyla sinterleme işlemi yapılarak ilk katman oluşturulur (Şekil 4). İlk katmanda tanımlanan bölgelere yapılan lazer uygulaması tamamlandıktan sonra tekrar istenen kalınlıkta toz serimi yapılmaktadır. Toz büyüklüklerinin ve yapısının yanı sıra ortamın atmosferi, lazer ve optik sistemlerin yetkinliği son ürüne doğrudan etki etmektedir.



Şekil 3. Katmanlı İmalat Süreci Adımları [5]



Şekil 4. Lazer Sinterlemeli Katmanlı İmalat Parametre ve Tezgah Gösterimi [6]



Şekil 5. Lazer ve Toz Üfleme Katmanlı İmalat Yöntemi [7]

Katmanlı imalatta son ürünün istenen özellikleri verebilmesi için hazırlık aşamasında ve operasyon sırasında inşa yönü, enerji yoğunluğu, katman kalınlığı, tarama stratejisi, destek yapıların varlığı ve seçilen cihazların etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. İstenen son ürün için katmanlı üretim yöntemlerinden en doğru olan seçilmelidir. Örnek olarak toz serim işlemi katmanlı imalat yöntemine göre değişkenlik göstermektedir. Bazı yöntemlerde toz yatağına toz tablası yardımıyla serim yapılırken, bazı yöntemlerde hareketli lazer nozulu (Şekil 5) üzerinden toz serimi sırasında lazer sinterleme işlemi yapılabilmesi mümkündür. Katmanlı imalat yönteminde istenen üç boyutlu yapının inşası için destek yapılar ihtiyaç duyulabilir. Bu yapılar inşa esnasında parça bütünlüğünü sağlamakla görevlidir.

Genelde dikey parça inşasında kullanımı gerçekleşmekte. İnşa sonrası tezgah üzerinden söküm esnasında parçaya bağlı bulunan destek yapılardan ayrımı yapılır ve son ürün elde edilir (Şekil 6).



Şekil 6. Katmanlı İmalatta Destek Yapıyla İnşa [8]

3. KATMANLI İMALATIN FAYDALARI

Katmanlı imalatın diğer yöntemlere göre genel avantajları, istenilen 3B ürünlerin elde edilebilmesi, yüksek karmaşık geometrik yapıları ürünlerin elde edilmesinde, tasarım değişikliği sonucu nihai ürüne sonradan ek yapılabilme özelliği, hasarlanan bölgenin onarılabilir olması, tozların tekrarlı kullanımı, aynı anda birden fazla ürünün elde edi-

lebilirliği, düşük işletim maliyeti, yüksek yüzey kalitesinin elde edilebilirliği, diğer üretim yöntemlerine göre göreceli olarak daha hızlı üretime dönüştürülmesi şeklinde sıralanabilir. Bunlara ek olarak, katmanlı imalat, zaman, yetkin çalışan (örneğin kalıp yapımında) ve hurdaya çıkan malzeme miktarının çokluğundan dolayı pahalıya mal olan döküm, dövme ve talaşlı imalat parçalarının yüksek fiyatlarına göre daha avantajlı olabilmektedir. Katmanlı imalatta herhangi bir kalıba ihtiyaç duyulmadan parça üretiminin yapılabilirliği [9].

4. KATMANLI İMALAT ÇALIŞMALARI

Diğer bir çalışmada ise lazer sinterlemeli ve toz eritmeli katmanlı imalat yöntemleri; yeni malzeme çeşitleri açısından sunduğu esneklik, ince geometrik unsurların üretilebilmesi ve yüzey kalitesinin diğer yöntemlere kıyasla iyi olması sebebi ile çeşitli endüstri kolları tarafından tercih edilmektedir. Bununla beraber söz konusu yöntemin doğası gereği meydana gelen, metal tozunun hızlı ergime ve katılma süreçleri sebebi ile iç (artık) gerilmeler oluşmakta, bu gerilmelere bağlı olarak parçada deformasyonlar meydana gelebilmekte ve dolayısıyla parça geometrisi veya toz malzemeye bağlı olarak hedeflenen kalitede üretimler elde edilememektedir. Söz konusu zorlukların üstesinden gelmek, ancak lazerle metal toz eritme yönteminin imalat/süreç parametreleri açısından optimize edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bununla beraber ilgili yöntemde yer alan onlarca farklı parametrenin etkisinin tek bir araştırmacı veya kurum tarafından anlaşılması, zaman ve maliyet açısından uygulanabilir değildir. Bu sebeple bu çalışmada literatürde geçen farklı araştırmalar sistematik olarak gözden geçirilmiş, süreçte kullanılan parametreler açıklanmış, farklı durumlarda karşılaşılan zorluklara dikkat çekilmiş ve bu zorlukların üstesinden gelebilmek için işlem parametrelerinde yapılan geliştirmeler ortaya konmuştur [6].

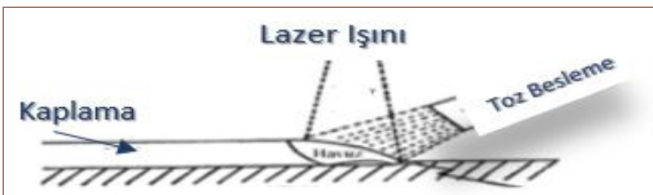
Toz metalürjisi ile üretimde, makine, tasarım, yazılım ve lazer teknolojilerinin bir araya getirildiği eklemeli imalat yöntemi olarak adlandırılan yeni bir teknoloji katılmıştır. Günümüz eklemeli imalat teknolojisiyle polimer, seramik ve metal esaslı malzemelerin partikül (toz), tel, plaka/sac ve eriyik formları uygun şartlarda lazer, elektron ve ultraviyole ışınları kullanılarak katmanlı bir şekilde kullanışlı

prototip ve/veya endüstriyel parça imalatı mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada, özellikle toz yataklı/beslemeli eklemeli imalat yöntemleri, bu yöntemlerde kullanılan partiküllerin karakterleri ve toz imalat yöntemleri ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Ayrıca yapılan bu literatür araştırmasında, partikül tane boyutunun, şeklinin, fiziksel özelliklerinin ve kimyasal saflığının, toz yataklı/beslemeli eklemeli imalat ile elde edilen ürünlerin özelliklerine etkisi ifade edilmeye çalışılmıştır [10].

Katmanlı imalat yöntemleriyle üretilen malzemelerin kaynaklanabilirliği ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. İmal edilen malzemelerin kaynağının en uygun parametreler sağlandığı takdirde başarılı birleştirme sonuçları ve rebildiği tespit edilmiştir. Katmanlı imalat ile üretilen malzemeler anizotropik özellik göstermektedir. Bu durum kaynak yöntemi sonrasında yöne bağlı olarak mikroyapı ve mekanik özelliklerde farklılık oluşturmaktadır. Bunlara ilave olarak, parçalara kaynak yöntemi sonrasında ısıl işlem uygulanması kaynaklı yapının mikroyapı ve mekanik özelliklerini artırıcı etkide bulunmaktadır [11].

5. KATMANLI İMALAT TEKNİKLERİ İLE PARÇA YÜZEY İŞLEMLERİNİN YAPILABİLİRLİĞİ

Katmanlı imalat yöntemleri, geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilemeyen karmaşık şekilli parçaları düşük maliyetlerde üretmeye imkan veren yöntemlerdir. Parçalardan elde edilen mekanik özelliklerin, istenen sektöre göre teknik özelliklerini karşılaması gerekmektedir ve son yıllarda gerçekleştirilen bilimsel araştırmaların çoğu bu yönde ilerlemektedir. Yapılan birçok araştırma ve uygulamaların sonuçları, katmanlı imalat yöntemleri ile kaplama yapılan parçaların statik, mekanik dirençlerinin dövme ve döküm parçaların özellikleri ile rekabet edecek düzeye geldiğini göstermektedir. Üretilen parçaların servis şartlarındaki kullanım ömürlerini etkileyecek olan kriterlerden olan altlık ve biriktirilen katmanlar arasında

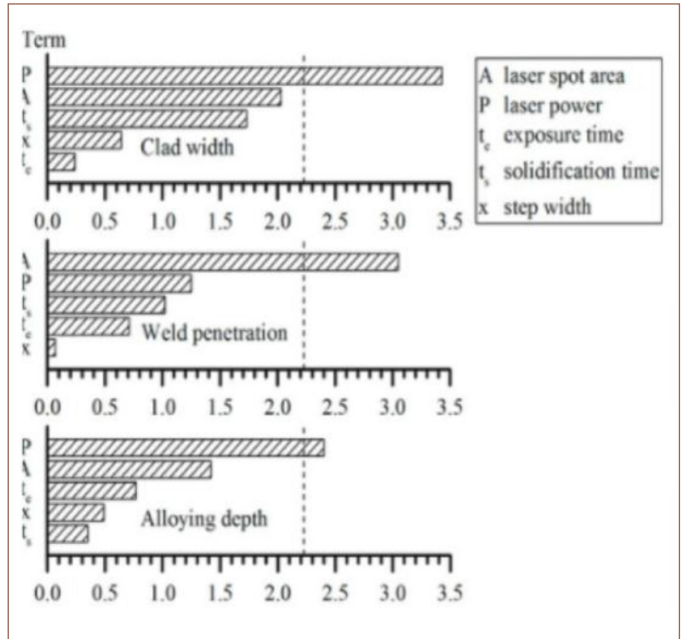


Şekil 7. Lazer Kaplama İşleminin Gösterimi [12]

iyi bir metalürjik bağ kurma, porozitesiz, çatlaksız ve iyi yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşma yönündeki çalışmaların gelecekte devam edeceği öngörülmektedir [12].

2002 yılında yapılan Sexton ve çalışma arkadaşlarının çalışmalarında, son yıllarda havacılık endüstrisinde gaz türbin motorlarının onarımlarında kullanılacak yeni teknolojilerin araştırılması ve geliştirmeleri için yeni ve büyük hacimli kaynakların ayrıldığı belirtilmektedir. Bu konudaki çalışmalarda kullanılan geleneksel onarım aracının TIG ("Tungsten Inert Gas") kaynağı olduğunu işaret etmekle birlikte, çalışmalarında Şekil 7'de şematik olarak gösterilen lazer kaplama ("laser cladding") olarak isimlendirilen yeni bir yöntemi uzay-havacılık uygulamalarında kullanılan parçaların koruyucu malzemeler ile kaplama işleminde kullanmışlardır. Lazer kaplama işlemindeki temel amaç, altlık olarak kullanılan malzeme ile bunun üzerine katman şeklinde kaplanacak metalik tozların oluşturacağı alaşım arasında eritmeye dayalı bir bağ, porozitesiz, çatlaksız ve yüzey özelliklerinin iyileştirici bir şekilde oluşturmaktır [13].

Ülkemiz sınırları içerisinde katmanlı imalat ile ilgili pek çok araştırma ve çalışma mevcuttur. 2017 yılında katmanlı imalat yöntemiyle üretilen Ti alaşım parçalarının mekanik özellikleri ve bu özellikler üzerine etki eden faktörler



Şekil 8. Parametre Değişkenliğinin Numune Üzerinde Etkisi [15]

detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yanal kayma mesafesi, tarama hızı ve katman kalınlığı gibi üretim parametrelerinin yanı sıra, üretim yöntemi, üretim sonucu parçada oluşan artık gerilmeler ve ısıl işlem uygulanması gibi faktörlerin de mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır [14].

Tobias Gabriel, Daniel Rommel, Florian Scherm ve çalışma arkadaşları lazer kaplama yönteminin, metaller üzerine kaplama uygulamak için iyi bilinen bir işlem olduğunu göstermek istemişlerdir. Bu düşünceyle birlikte, 1 mm'den oldukça ince alt tabakalarda, literatürde sadece nadiren açıklık bulunur. Yaptıkları bir çalışmada, 200 µm'lik ince nikel bazlı süperalaşım 718 levhalar, lazerle kaplama ile kobalt bazlı bir alaşım olan Co – 28Cr – 9W – 1.5Si tozuyla kaplanmışlardır. İşlem penceresi çok dardır, bu nedenle hassas bir şekilde kontrol edilen fiber lazer kullanılmıştır. Alt tabakaya enerji girişini en aza indirmek için, tekli üst üste binen noktalar ayarlanarak çizgiler yerleştirilmiştir. Bir deney tasarımı çalışmasında, kaplama genişliği, kaynak penetrasyonu ve alaşım derinliği incelenerek lazer gücü, lazer nokta alanı, adım boyutu, maruz kalma süresi ve katılma süresinin proses parametreleri değiştirilmiş ve optimize edilmiştir. Numunelerin mikro yapısı, elektron geri saçılım kırınımı (EBSD) ve enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile birleştirilen optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile araştırılmıştır. Daha kalın alt tabakaların lazer kaplamasına benzer şekilde, lazer gücünün ortaya çıkan kaplama üzerinde en yüksek etkiyi gösterdiği belirlenmiştir. Daha yüksek bir lazer gücü ile kaplama genişliği ve alaşım derinliği artmakta ve daha büyük bir lazer nokta alanı ile kaynak penetrasyonu azalmaktadır. Süreç parametreleri hassas bir şekilde kontrol edilirse, bu tür ince tabakaların lazerle kaplanması yönetilebilmektedir [15].

Gazi Üniversitesi'nden Murat Kayaalp ve Hasan Hasırcı'nın yapmış olduğu "Termokimyasal Yöntemle AISI 304L Çeliğinin Kaplanabilirliğinin İncelenmesi" çalışmasında, AISI 304L paslanmaz çelik malzeme yüzeyinin seramik ile kaplanmasında çok düşük maliyet olan termokimyasal yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem basit ısıl işlem fırını ve yüzeye uygulanacak malzeme yeterli olmaktadır. Metal+seramik toz karışımı altlık yüzeyine

uygulandıktan sonra numuneler fırında 1200 °C'de belirli süreyle bekletilmiş, ardından da oda sıcaklığında soğutulmuştur. Üretilen numunelerde meydana gelen kaplamaların sürekliliği ve kalınlık karakterizasyonları için metalografik incelemesi yapılmıştır. Metalografik inceleme sonucu kaplama tabakalarının altlığa paralel tabakalar halinde, inceleme yüzeyi boyunca sürekli bir halde ve kaplamada kullanılan malzemelerin tümünü içeren katlardan oluşan bir yapının olduğu tespit edilmiştir [16].

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Dünya üzerinde katmanlı imalat yöntemiyle her geçen gün piyasaya katmanlı imalat için kullanılacak yeni malzemelerin sürülmesi, üç boyutlu baskı ekipmanının CNC tezgahlar gibi tekrarlanabilen kontrollü süreçler gerçekleştirilebilecek seviyeye getirilmesi ve analiz yöntemlerinin genişletilmesi gibi adımlarla birlikte bu teknolojinin gittikçe yaygınlaştığı görülmektedir.

Katmanlı imalat yöntemi, farklı sektörlerde kullanılmakta olup arzu edilen numune özelliğine göre kullanılan toz, sinter yöntemi ve sistem parametrelerinin değişkenlik göstermesi, bu parametrelerin doğrudan numuneye etkisiyle ölçülebilmektedir. Yapılan çalışmalardan genel olarak işlem parametrelerinin etkisi şu şekilde özetlenebilir; kaplama genişliği artan lazer gücü ile artar, azalan lazer nokta alanı ile kaynak penetrasyonu artar ve artan lazer gücü ile alaşım derinliği genişler. Genel olarak hem metalürjik hem de mekanik özelliklerinin gerçek parça malzemesine yakın olmasıyla, ortaya konulan ürünler çeşitlenmektedir. Gün geçtikçe katmanlı imalat faaliyetlerinin ve imalat sınırlarının genişlemesi bu alandaki bulguları artıracaktır. Türkiye ve tüm dünyada firmaların son teknolojilerinde katmanlı imalat yöntemlerini kullanması ve bu yöntemle ürettikleri parçalar için uluslararası otoritelerden onay alması, katmanlı imalat yönteminin gelecekte imalat sektörüne yön vereceği açıkça anlaşılmaktadır.

Yapılacak çalışmayla mevcut araştırmalar sonucu, plakaların katmanlı imalat yöntemleriyle kaplanabilirliği, lazer ile toz sinterleme yapılarak balistik dayanımın artırılması hedeflenmektedir. Bu yöntemde birden fazla parametre ürüne etki ettiği için, örnek numune bu parametrelere göre değişkenlik gösterebilir. Temel olarak bu paramet-

relerin en optimum düzeyde tutularak gerekli lazer gücü, toz kalınlığı, serim yönleri gibi değerlerin saptanması ve mekanik testler ile son ürünlerdeki değişimin gözlenmesi amaçlanmaktadır. Akabinde elde edilen veriler ışığında belirli mekanik özellikleri olan üretilmiş parçaların bu yöntem ile daha az maliyetli elde edilebilirliği araştırılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yüksek destek ve yardımları bulunan Nuro Makina'ya, Nuro Teknoloji'ye ve değerli yöneticilerime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

1. Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., Emmelmann, C. 2016 "Additive manufacturing of metals", Acta Materialia, 117, 371-392.
2. ASTM F2792-12a, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, ASTM International, 2012.
3. <http://marsisinovasyon.com/modern-3d-yazici-teknolojileri/> 20.12.2020
4. <http://eklemeliimalat.info.tr/2-eklemeli-imalat-teknolojileri/> 20.12.2020
5. Gibson I, Rosen D, Stucker B. "Directed Energy Deposition Processes. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, And Direct Digital Manufacturing". New York, NY: Springer; 2015. p. 245-68.
6. Poyraz Ö., Kuşhan M.C. 2018. "Metallerin Lazer Katmanlı İmalatında Farklı Proses Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (2), 730-742, 2018.
7. <http://tantalosmaket.blogspot.com/2016/12/katmanli-imalat-teknolojileri-hakkinda.html> 20.12.2020
8. Çelebi, A., Seziş, Ü. 2019. "Katmanlı İmalatta Destek Yapısının Ve Konumlandırmanın Çarpılma Üzerine Etkisinin Simufact Additive Yazılımı İle Simülasyonu". International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 3 (2), 182-188
9. Kara, N. 2013. "Havacılıkta Katmanlı İmalat Teknolojisinin Kullanımı," Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 636, s.70-75
10. Karakılıç U., Yalçın B., Ergene B. 2019."Toz Yataklı/Beslemeli Eklemeli İmalatta Kullanılan Partiküllerin Uygunluk Araştırması Ve Partikül İmalat Yöntemleri", Politeknik Dergisi, 22(4): 801-810, (2019).
11. Aydın K., Karamolla M. 2019. "Katmanlı İmalat ile Üretilen Metal Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti" BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal of Science 8 (4), 1610-1620, 2019.
12. Odabası A., Odabası H. 2018. " Katmanlı İmalatın Havacılık Uygulamaları Ve Sektör Değerlendirmesi", Metal Dünyası (Güncel), Mayıs 2018.
13. Sexton, L., Lavin, S., Byrne, G., Kennedy, A. 2002. "Laser cladding of aerospace materials. Journal of Materials Processing Technology", 122(1), 63-68.
14. Gulcan O., Konukseven E.İ., Temel S. 2017. "Katmanlı İmalatla Üretilen Ti6Al4V Parçalarının Mekanik Özellikleri" Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, Mayıs 2017.
15. Gabriel, T., Rommel, D., Scherm, F., Gorywoda, M., Glatzel, U. 2017. "Laser Cladding of Ultra-Thin Nickel-Based Superalloy Sheets. Materials", 2017, 10, 279.
16. Kayaalp, M. ve Hasırcı, H. 2019. "Termokimyasal Yöntemle AISI 304L Çeliğinin Kaplanabilirliğinin İncelenmesi", 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress, 7-10, 2019, Türkiye.